有機質肥料合理化施用技術

陳武雄
林俊義　主編

林木連　陳琦玲
黃維廷　吳婉麗　執行編輯

TARI LIB.
C005342

中華永續農業協會
行政院農業委員會農業試驗所　出版

中華民國八十九年三月

432.307
8734-2

14389

目　錄

序（一）(陳武雄)

序（二）(林俊義)

壹、前言　頁次

第一章　推動合理化施肥的重要性(黃伯恩)......1

第二章　有機質肥料施用意義之定位(林木連)......5

貳、台灣土壤有機質之狀況與有機資材利用現況

第一章　台灣地區土壤有機質含量與管理對策(郭鴻裕)......9

第二章　有機質肥料合理化施用與環境維護(陳琦玲)......23

第三章　農畜產廢棄物之利用與堆肥化(簡宣裕)......37

參、有機質肥料種類

第一章　有機資材及有機質肥料之成分分析(李豔琪)......49

第二章　有機質肥料種類與利用(林木連)......63

第三章　堆肥品質判定(簡宣裕)......85

肆、有機質肥料的施用技術

第一章　不同有機資材之分解與礦化(林毓雯)......93

第二章　有機質肥料在水稻栽培上之施用技術(黃山內)......103

第三章　有機質肥料在蔬菜栽培上之施用技術(王鐘和)......119

第四章　有機質肥料在花卉栽培上之施用技術(張庚鵬)......129

第五章　有機質肥料在果樹栽培上之施用技術(黃維廷)......139

第六章　有機質肥料在茶樹栽培上之施用技術(林木連)......147

伍、資訊應用與新科技介紹

第一章　農試所土壤資訊系統之應用(劉滄棽)......163

第二章　高效能植酸酵素在增進土壤有機磷及有機質肥料有效性之應用(張明暉)...175

005342

陳理事長武雄序文

近代農業生產，投入大量化學肥料，遂逐漸出現地力衰退，土壤與水質等環境生態污染問題。由於社會愈進步對環保的意識要求愈高，以及對農產品之品質營養和飲食衛生較以往講究，所以自然有機農法生產之有機蔬菜，有機水果及有機米等農產品，在市場愈來愈為消費者所接受與歡迎，故有機質肥料之使用與需求日益受到重視。

中華永續農業協會之宗旨，為推動農業永續經營，兼顧農業生產及生態資源之維護。有機肥培為農業永續經營之關鍵環節。有機肥料合理施用，並非要完全替代化學肥料，而是要適當地配合化學肥料施用，滿足作物生育之養分需求，一方面提高作物收量與品質，增加農友收益，另一方面減施化學肥料，節省施肥成本，維護農田地力與減少環境衝擊。

為推行有機質肥料合理化施用，方便農友及農政推廣工作人員參考，中華永續農業協會與行政院農業委員會農業試驗所合作編印「有機質肥料合理化施用技術」之專冊，內容涵蓋花卉、蔬菜、水果、茶樹及水稻等不同作物之有機質肥料施用技術，及介紹有機質肥料種類特性，堆製，有機質肥料施用之資訊與新科技，環境維護等之理念，對從事永續農業的推廣人員及生產的農友甚具參考價值，茲值付梓，特為之序。

中華永續農業協會理事長　陳武雄謹識

民國八十八年十二月

林秘書長俊義序文

台灣地處熱帶與亞熱帶氣候，高溫多濕，適合作物生長，然耕地面積有限，人口眾多，農業係屬多作精耕型態。農業能否永續經營必需面對生產力維持，資源利用效率，與環境影響等重要課題，亦即農業生產必須注意農田地力之維持，資源再生與充分利用，並維護環境生態。近年來農試所與其他農業試驗單位，積極推動促進農業永續發展之經營模式，諸如水旱田輪作，綠肥推廣種植，農產廢棄物再堆製成有機肥料，生物肥料及非農藥防治病蟲害技術之開發利用均著有成效。

施肥對於農業生產，土壤與水質環境之維護均有密切影響，由中華永續農業協會及行政院農委會農業試驗所彙集以往研究成果，編印「有機質肥料合理化施用技術」之專集內容介紹有機肥料之種類堆製及成分性質等，及考量不同作物種類及生育時期之養分需求，配合化學肥料之施用方法，並利用科學化的土壤及植體營養診斷技術，推薦合宜之肥料種類與施用量，施用時期與方法，其目的不僅在利用有機肥料提高作物產量和品質，增加農友收入，更期減少化學肥料投入，避免養分流失，降低生產成本，達到培養優良土壤生態系統之目標。此專冊可供農友與相關農業從業人員推行有機質肥料合理化施用之參考，特為之序。

中華永續農業協會秘書長　林俊義謹識

民國八十八年十二月

推動合理化施肥的重要性

黃伯恩

行政院農業委員會

前　言

長期以來在公營肥料產銷制度下，爲照顧農民，降低農業生產成本，維持肥料低廉價格，如肥料用天然氣以優惠價每立方米 1.05 元，以生產廉價肥料，每年約補貼 20 億元。又在農村勞力不足，工資昂貴，爲節省施肥工資，多以少次多量及表面撒施之粗放施肥方式，造成肥料用量偏高又肥料利用率低之情形。

台灣地區位處於亞熱帶氣候圈，高溫多濕，土壤風化與淋洗劇烈，土壤貧瘠，養分含量普遍偏低，爲維持作物正常生產，進而達到高產及品質之目標，以施肥補土壤養分之不足，實爲必要手段。幾十年來國內肥料穩定供應，爲維持農業持續成長因素之一。依據農業年報統計資料，民國 85 年化學肥料總用量爲 1,391,665 公噸，以當年耕地面積爲 872,159 公頃，每公頃肥料用量高達 1,596 公斤，換算每公頃三要素用量爲 535 公斤，爲世界上高肥料用量國家之一。

不當施肥可能之影響

化學肥料因施用方便又肥效快速，對農作物增產確有相當之貢獻，以致農民偏好超量使用肥料，造成下列不良之影響：

1. 施肥成本之增加：

肥料適當用量及方法，才能提高其利用效率，達到施肥之目的。如超量使用，不僅利用率低浪費肥料，也增加施肥工資，如西螺蔬菜園施肥量超高，據農試所調查，其三要素吸收比例低，分別只有氮素 11.0%，磷酐 1.7%，氯化鉀 15.1%，肥料流失量之大，可見一般。台肥公司已民營化，天然氣優惠價格已取消，

肥料產銷自由化後，肥料價格完全由市場機能反映，政府不再補貼，農民更需要減少肥料浪費來節省成本。

2. 土壤品質之影響：

長期施用大量化學肥料，僅部分被作物吸收利用，其餘主、副成分在土壤中累積，對土壤理化性質有不良之影響。如土壤酸化即酸鹼度（pH 值）降低，經農業試驗所調查三十年間農田土壤酸鹼度普遍降低 0.3 至 0.5 個單位。另因鹽類累積造成土壤鹽化問題，據台中場調查，在設施栽培鹽化較爲嚴重，因天然雨水之淋洗，鹽分容易累積於表土，無論施用化學肥料或有機肥料都有可造成鹽分累積。

3. 水源水質之影響：

施肥若超過農田所能涵容時，過多的肥料（尤其是氮肥）隨雨水或灌溉水進入地下水及下游水域，造成水質優養化，水中微生物大量繁殖，溶氧量耗盡，魚類無法生存；此外，銨態氮及有機磷對魚類有劇毒，引起魚類死亡；又引用受氮磷污染之灌溉水，造成農作物受鹽害。

4. 溫室氣體之排放：

大氣中之溫室效應氣體（二氧化碳、甲烷、氧化亞氮及氟氯碳化物）濃度增加，增強溫室效應，導致地球表面溫暖化，加速氣候變遷。其中土壤氧化亞氮（N_2O）之釋放與氮肥施用有關，改善肥料使用效率對減緩氧化亞氮之排放具有相當效益。據中興大學趙震慶等 1994 至 1997 年田間氧化亞氮釋放量估算中、南部水、旱田、果園及闊葉林，每公頃每年土壤排放氧化亞氮 3.24—14.14 公斤，視農業生態系施肥與管理情形而異。

5. 農產品食用安全與品質之影響：

氮肥過量施用，如又日照不足時，蔬果所吸收之氮肥可能以硝酸鹽形態累積於植物體內，硝酸根離子遇到唾液中的消化酵素，轉變爲亞硝胺（nitrosamine）爲致癌物之一，長期食用有危害健康之虞。又硝酸鹽會阻礙紅血球攜氧功能，人體吸收過多會感疲累與體力不佳等情形。另對以品質爲重之蔬果產品，氮肥施

用過多時其品質不良，如洋香瓜、芒果等示範結果，合理施肥均較農民慣用高肥量有較佳之品質優級品及糖度均可提高。

6. 作物生育不佳，對逆境抵抗力差，易罹患病蟲害，致產量降低。

合理化施肥技術之應用

（一） 需肥診斷應用及示範

一般農作物由根部自土壤吸收各種養分，而土壤所含養分情形至爲複雜，土壤中養分不敷作物之需要，及農作收穫物帶走大量養分，均需施肥來補充，如一公頃茶園一年採茶菁 1 萬公斤，茶菁含氮 4%計，則每年奪走 400 公斤氮素，至少應補充 400 公斤以上氮素肥料。合理化施肥就是要依照土壤性質與肥力情形、作物養分需要、氣候狀況計算正確肥料用量、肥料種類，同時要適時適法施肥。是要以適當施肥成本來獲良好的農產品產量與品質，提高農民收益，也要兼顧生態環境維護。各種肥料要素使用量多少，需仰賴土壤與植體（葉片）營養診斷技術之綜合應用，各地區農業試驗改良場所及其他農業學術單位多年來辦理土壤調查及土壤肥料試驗研究工作，已建立施肥推荐基本資料可資應用。近年來在各改良場等擇當地重要作物辦理依據需肥診斷推荐量施肥示範，召集農民觀摩及施肥講習，茲摘錄主要成果如下：

場別	作物別	主要成果
高雄場	茄子	節省肥料 30%以上，增產 2.5%。
	印度棗	節省肥料 20%，每分地節省肥料成本 2400 元。
台中場	水稻	共有四處示範圃，節省肥料 16-2.8%。
台東場	白柚	節省肥料 24%，糖度提升 0.9Brix，糖酸比提升 1.6 度。
花蓮場	水稻	節省肥料 10%，產量增加 2.2%。
	文旦	節省肥料 11%，糖度提升 0.6Brix。
	番茄	節省肥料 10%，產量增加 4.2%，糖度提升 0.2Brix。
台南場	落花生	節省肥料 50%以上，增產 6.6%。

（二） 其他配合措施

1.有機肥料使用推廣：

推廣使用農牧廢棄物產製之有機質肥料，可替代部分化學肥料，產量品質均可提升，並促進農業廢棄物資源化再利用，有利於環境保護。

2.推廣種植綠肥作物：

在冬、夏季農地休閒期推廣種植油菜、苕子、埃及三葉草及田菁等綠肥作物，改善農田地力及增進田園景觀。

3.微生物肥料之利用：

推廣毛（大）豆等豆科作物接種根瘤菌，減少氮肥用量50%以上；瓜類育苗接種菌根菌，促進苗期發育健壯及土壤養分有效性，以減少肥料用量。

4.其他問題土壤之改良，提升肥料利用效率。

結語

目前歐美流行精準農業（precision agriculture），在國內農民耕地面積狹小，農作物種類多且雜之條件下，實施不易。惟如按照土壤特性與作物別來精準計算肥料使用量，並作正確施肥管理，已具精準農業之精神，因此，合理化施肥爲精準農業技術之一環，在小農耕作制度下爲可行之措施。

有機質肥料施用之意義定位

林木連

行政院農委會農業試驗所

一、前　　言

台灣地區栽培農作物之使用化學肥料，根據記載大約有一百年左右的歷史，它是開始於民國前十年的日據時代，在這個時期之前農田只有有機質肥料可以使用，那個時候農民大多使用自己豬牛飼養所產生之糞尿添加農作物藁桿或稻草所製作之堆肥，也就是俗稱之自製有機質肥料。

然而政府近四十年來努力推廣應用現代化家禽及畜牧生產的結果，產生了集約化與專業化之農畜牧經營方式，雖台灣地區近年來每年產生禽畜排泄物約 1,500 萬噸，若加上畜牧廢水處理後產生大量生物泥泥、其他農產廢棵物如蔗渣（40 萬公噸）、稻殼（30 萬公噸）、太空包廢料（5 萬公噸），則這些有機廢棄物之總量就達 2,000 萬公噸，這些有機廢物是含有養分、有機質、堆肥發酵後含有土壤有益微生物的東西，若讓其隨意棄置，不僅可惜，且會嚴重影響環境衛生及我們的生態環境。永續農業的重要問題之一，是作物的養分能便宜而持續的供應，因爲數百年之後來自化學肥料的磷鉀肥供應將成問題。人類只有循環利用一途，那個時候人類之生存將依靠有機質肥料一途，因爲並沒便宜的磷、鉀替代能源。

先進國家警覺到養分循環利用之重要性，故無不積極致力於農業廢棄之處理，如美國農部就有生物固態廢棄物（bio-solid waste）之國家型研究計畫，我國在此方面也不例外，因爲保護我們的環境，維繫子孫的永續生存太重要了。

根據統計台灣地區之有機質肥料工廠，包括取得與未取得工廠登記之有機質肥料工廠約在 326 家以上，總產能約 65 萬公噸，這些有機質肥料幾乎大部份都回歸到農田，故我們農友可以說是協助減廢

（reduce）、循環（recycle）及再利用（reduce）即所謂之 3R 之協助者，故在使用有機質肥料上應具有公益上之意義，其行為應該是要受鼓勵的。

二、有機肥料施用之意義

（一）代為解決農業廢棄物之問題

有機質肥料無論是來自禽畜糞所製造之堆肥、鋸木業所產生之樹皮堆肥、榨油工業所產生之豆粕類、製糖業所產生之蔗渣都是屬於農畜生產或加工後產生之農產廢棄物所製成之有機質肥料。把它回歸施用到農田等於消納了大部份的農產廢棄物，是屬於另一種形態的環保處理業者，是另一種做社會公益的工作，是應獲得社會大眾的支持的。

（二）改善農田之生產力

使用有機質肥料之目的有二，第一為改良土壤的理化及生物性質。這主要是有機質肥料裡面之有機質成分，特別是日後分解穩定之腐植質，提供作物根部良好之生長環境。所以政府部門為鼓勵利用有機質肥料來改善農田之地力，也把有機質肥料品目中之「一般堆肥」，即利用有機質材料（經過發酵腐熟，面未加入化學肥料礦物者），之有機質（乾基）含量訂為 60%，且銅、鋅之含量分別不能超過 150 及 500ppm。本項標準亦做為有機質肥料示範推廣補助把關之基準。

施用有機質肥料之另一項目的為提供供作物生長所需之大量元素外亦有次量及微量元素，它的形態有些速效性的如裡面所含的鉀，有些是緩效性的，如部份之磷及氮。利用有機質肥料來供給作物養分在作物有機栽培上特別重要，因此此類栽培方式，以選用較含高氮養分之有機質肥料為宜。

（三）永續農業的支持者

合理化的使用有機質肥料為永續農業的忠誠支持者。永續農業

是一種循環利用農產廢棄物、兼顧生態環境、生產利潤、技術可行性及社會層面之農業經營管理方式，它是要利用當今及以後的科技合理利用及管理農業資源，同時維護生態環境、生產安全的農產品，以供消費者享用。永續農業要能珍惜使用自然資源，讓後代子孫能永恆利用，農業能永續發展。

（四）另一種型態之緩效性肥料

以農民之立場而言，禽畜糞堆肥是一種緩效性肥料，它有養分慢慢釋放之優點，減少因雨或灌溉而導致養分之流失，可以減少施肥勞力之投入。

三、有機質肥料之缺點及其解決

有機質肥料有其優點及缺點，缺點例如養分不平衡、體積一般疏鬆龐大不利運輸及施用、肥效緩慢、有些重金屬含量偏高或夾雜其他不純物、有毒物質、售價偏高等都是常被批評的項目。

事實上上述之問題均可利用科技的方法或行政管理的方式來解決，例如利用多種材料的組合可使有機質肥料之養分達到平衡或把重金屬量降低，這樣有利於作物之吸收利用，或可延長農田最大重金屬承載量之年限。有機質肥科之售價一直是偏高，頗爲影響其之推廣利用，根據廠商之說法是行銷問題所引起，太多層之行銷通路，引起價格上之偏高，解決之道爲鼓勵農民能利用散裝之方式來施用有機質肥料，以降低其購用成本。

四、結　　語

有機質肥料之施用具有解決農業有機廢棄物之功能，它是循環利用這些廢棄物極爲重要的管道，但有機質肥料之施用應講求合理化之施用。在本專輯中所介紹的都是可考慮應用之技術與方法。有機質肥料之合理化施用是永續農業不可缺少之一環。

澳州坎培拉宣導減廢及堆肥循環利用之貼紙標誌

臺灣地區土壤有機質含量與管理對策

郭鴻裕、朱戩良、劉滄棽、江志峰、劉禎祺

行政院農委會農業試驗所農業化學系

土壤有機質是土壤組成份之一部份，與土壤之生成、化育有密切之關係，同時亦關係土壤化學、物理及生物性質之表現。土壤有機質自古以來即是農學家之密切注意對象，尤其在化學肥料尚未發達之時代，主要爲提供作物養分之來源。在化學肥料發達後，另有部份人士研究土壤有機質之養分效應外之效果。傳統上認爲其對於土壤水分的滲透與保持，良好構造的形成，陽離子交換能量的增加，植物營養素的供給，以及微生物活動等，均有莫大的功用，因此土壤有機物被認爲是構成作物高產量重要因子之一。

土壤有機物分解對於作物產量影響之重要性自古爲農藝家所重視，但由土壤養分觀點分析並無其特殊之處(連,1995)；許多國內外之長期施用有機質肥料與化學肥料之比較試驗亦証明此項觀點。一般皆認爲良好的土壤有機質對於土壤理化性質有其貢獻，如果土壤有機質分解消耗，會造成土壤通氣性、保水力降低及土壤構造崩解、土壤生化活性降低等問題；但直至目前土壤有機質對於土壤構造維持，保水力、養分之應及土壤微生物態之平衡點及效應含量均甚少量化之研究，一般的報告只是人勻亦勻甚以誇張似的肯定有機質之貢獻，因本問題爲多方面且爲整體性之問題，故有機資材之來源與施用及其效益必須審慎估算。

土壤有機質爲土壤氮素的主要供給來源，由其含量高低，可約略反映土壤含氮情形，由於土壤中氮多以有機態存在，必須藉微生物作用轉變爲銨態與硝酸態後，植物方能利用。根據之試驗，土壤有機物含量在 2-3% 時，其產生礦物化的銨態氮，可從 45－130ppm，有機物在 3－4%時，產生的銨態氮可從 40－

175ppm，考其原因，各地土壤所含有機物的性質，差異甚大，其碳／氮比與其所吸著的鐵鋁亦異，因而由有機物含量，並不足以明瞭有機物的分解速率；此外，土層中有機物含量的差異，更增加採樣的困難，因此有機物含量雖可反映土壤含氮狀況，但尙難作爲施肥的依據(林,1967)。

由全球氣候變遷、能源之節用及農畜產廢棄物之循環利用等角度觀之，我們更應關心土壤有機物之動態變化。土壤有機質在土壤系統是以動態組成的方式存在，土壤有機質不斷的在土壤系統中進出，即是地球之碳循環中之一部份。目前存在土體中有部分之有機質之形成年代均以久遠。依據碳－14 定年法曾測得土體中之有機質是 8000 年前所形成，土體中常可見的是在 2500 年內形成的有機質，一般土體中有機質形成年代則爲 200 至 600 年之間。可見土體中之有機質的堆累並非是一蹴可躋的。

一、臺灣地區土壤有機質之分佈

土壤有機質含量與氣溫、雨量、土壤質地及土地利用等有密切關係。臺灣地區高溫多雨，土壤生物活動量大，所以土壤有機質之分解快速，一般農田之土壤有機質含量偏低。

臺灣地區多山，不能不提及山區與平地間之土壤有機質含量差異。高山地區從山麓至山頂隨高度變化，在不同高度上由氣溫、降水及植被特徵等綜合表現出氣候帶狀分佈，因地形及高度造成之氣候條件而影響土壤之生成，在高處的土壤比低處土壤處於較冷之氣溫及低蒸發量，同時接受較多之雨量。這種地形造成之氣候差異亦造成山區土壤有機質含量差異之主要原因。

茹等(1947)調查臺中縣土壤指出山區森林土之土壤有機質含量約爲 7.0%，臺地則約爲 3.3%，平地則約爲 2.4%。張(1951)指出中部地區不同地形高度與土壤有機質之關係，在草屯、民間海拔 100 公尺以下之農田土壤有機質含量約爲 1.5%左右，中寮、國姓、集集、埔里、魚池等地位於 500 至 1,000

公尺間，其有機質含量在 2.0%，和平、信義、仁愛諸山地鄉其表土有機質含量多在 2.5 至 3.0%之間。陳等(1992)由臺灣地區土壤調查資料統計指出在比較 35 個森林土及 55 個耕土，求得森林土之土壤有機碳平均值爲 31.9 公斤／公尺／平方公尺，一般耕土則爲 10.8 公斤／公尺／平方公尺。

台灣省農業試驗所在 1959 至 1967 年間臺灣省農業試驗所進行全面性的農田肥力測定，全省共計採樣 78,635 個樣本，係至目前爲止本省農耕地調查面積最完整之土壤肥力調查。本計畫之土壤有機質測定法採用修正 Walkely 及 Black 法，本次全省性之土壤有機質含量高低調查結果與 1949 年之趨勢相近；即桃園以北地區，以及大肚溪與濁水溪中間一帶之沖積土土壤有機質含量多屬中或高等級，其它地區之土壤有機質多屬低或極低。在東部地區除花蓮至瑞穗一帶，以及臺東卑南臺地之土壤有機物含量偏低，其它東部區域之土壤有機質含量多屬中或高等級。

農田土壤肥力調查結果顯示本省各縣農田土壤中，各等級有機質分佈百分比與其估計面積示於表一，其分佈情形則詳於臺灣地區農田土壤有機質含量圖(圖一)。若就全省農田土壤所含有機質而言，約有 14%屬於極低，50.8%屬於低，26.9%屬於中，屬於高者僅 8.3%，換言之，臺灣地區約有 2/3 農田土壤中所含有機質含量屬於低含量等及以下(林,1967)。

表一、本省農田表土有機物含量之分配百分比與其估計面積

縣別	土壤樣本總數	極低（VL）<1%		低（L）1%－2%		中（M）2%－3%		高（H）>3%	
		%	估計面積(公頃)	%	估計面積(公頃)	%	估計面積(公頃)	%	估計面積(公頃)
臺北	3593	3.5	1250.4	25.8	9280.7	41.9	15051.0	28.8	10351.4
桃園	5511	0.7	369.2	9.6	5301.6	52.3	28839.1	37.4	20600.1
新竹	5283	16.4	8648.3	55.8	29489.7	25.0	13212.8	2.8	1479.2
苗栗	5249	18.5	9731.6	54.3	28512.6	24.6	12928.3	2.5	1317.5
臺中	4623	13.4	6181.0	55.6	25680.8	28.3	13069.2	2.8	1299.1
彰化	6697	7.6	5116.5	45.2	30270.4	42.6	28523.5	4.6	3060.5
雲林	8675	19.8	17176.5	66.6	57749.5	12.5	10861.1	1.1	962.9
南投	3420	19.9	6819.5	55.3	18926.3	21.4	7329.1	3.4	1159.4
嘉義	7087	21.2	14989.0	69.0	48921.6	8.6	6059.4	1.3	900.0
臺南	9673	29.2	28283.9	66.1	63919.2	4.4	4256.1	0.3	270.8
高雄	5286	10.4	5471.0	62.9	33222.5	24.0	12670.5	2.8	1495.9
屏東	6740	4.7	3181.3	35.7	24068.5	46.3	31172.5	13.3	8977.7
臺東	2845	2.1	588.9	27.9	7948.9	39.5	11249.1	30.4	8660.2
花蓮	2443	7.7	1871.3	45.7	11169.4	33.0	8049.7	13.7	3339.6
宜蘭	1510	0.6	87.6	32.5	4910.5	53.6	8090.6	11.3	1709.3
總計	78635		109766		399372		211362		65583
%	100		14.0		50.8		26.9		8.3

1978 年至 1981 年間農試所、各改良場等進行臺灣省土壤肥力能限分類規範調查研究，計採取 5,730 個樣品。因爲不同土類之土壤生成因子不同，包括：母質、地形、氣候、生成時間及土地利用各有不同，土壤有機質之積聚亦隨之不同。將土壤整理區分爲九大土類，各土類之土壤有機質含量範圍及平均質如表二。

依各土類之平均值高低排序依次爲：黑土、安山岩沖積土、低地腐質土及湖積土、板岩沖積土、東岸母岩沖積土、紅壤、片岩沖積土、臺灣黏土、砂頁岩沖積土。此乃顯示除了氣候及地形因素外，不同母質來源之土壤物質對於土壤有機質之聚積能力不同故。臺灣地區之耕地土壤有機質分佈規則應以土類、地勢、氣候因子及土壤質地等因素而決定。

表二、 1980年肥力調查臺灣地區各主要土類之土壤有機質含量

	土壤有機質含量 %								
	黑土	安山岩沖積土	低地腐質土及湖積土	板岩沖積土	東岸母岩沖積土	紅壤	片岩沖積土	臺灣黏土	砂頁岩沖積土
最小值	0.00	0.57	0.85	0.00	0.71	0.29	0.38	0.79	0.00
最大值	6.48	7.62	4.95	8.16	5.72	5.75	5.52	4.91	7.62
平均值	3.61	3.48	2.96	2.78	2.54	2.32	2.31	2.04	1.94
標準偏差	1.49	1.12	0.91	1.03	1.14	0.87	0.89	0.63	0.77

以板岩沖積土為例：分佈在宜蘭、彰化及屏東地區之農田表土有機質含量，平均值分別為 3.2%、 2.5%及 2.5%。而在屏東地區之細、中、粗質地板岩沖積土之土壤有機質含量分別為 3.1%、 2.2%及 1.6%，彰化地區則分別為 3.1%、 2.6%及 1.5%，其差異皆達極顯著水準。宜蘭地區因常年多雨且氣溫稍低，故雖同為板岩沖積土，本地區其土壤有機質含量較中南部地區為高；但在本區內因土壤排水相對不良，故土壤質地之差異並不造成土壤有機質含量之差異。但在宜蘭地區之細、中、粗質地板岩沖積土之土壤有機質含量，分別為 3.4%、3.3%及 2.1%，除部份位於高地、河灘砂地與濱海砂丘之粗質地土偏低外，其於土壤質地之影響差異並未達顯著水準。在中部地區之細、中、粗質地砂頁岩沖積土之土壤有機質含量分別為 2.2%、 1.8%及 1.1%，差異達極顯著水準；南部地區之之細、中、粗質地砂頁岩沖積土之土壤有機質含量分別為 2.0%、 1.7%及 1.7%。在南部中、粗質地之土壤有機質含量平均值相同，此乃粗質地土壤有機質含量部分較高，因而影響中、粗質地間土壤有機質含量之差異性。由上述資料顯示中南部地區之板岩與砂頁岩土壤類別間之有機質含量有所不同，同土類之不同土壤質地之有機質含量亦同有差異。

土地利用亦影響土壤有機質之含量，Meints 等調查美國內布

拉斯加州之暫乾黑沃土之處女土與耕作土之土壤有機碳含量，發現耕作土較處女土之表土有機碳含量低約 30 至 55%，同時影響之深度可達 127 公分，且土壤有機碳之損失以表土最多，隨著深度而影響漸減。臺灣平地之開發甚早，除東部地區外，全面性開發已有三百年以上之歷史，故本省土壤有機質含量之變化應不再是處女土開發之變化階段，而是土地之利用變化之區別。水田力耕作需經常浸水，土壤屬於厭氣狀態，有機質分解較慢，故同地區之土壤有機質含量應較旱田爲高。作者以 1980 之調查資料分析顯示，嘉義地區耕地水田 266 個樣品及旱田 285 個樣品之比較，水田土壤有機質含量爲 1.9%，旱田土壤有機質含量爲 1.6%，差異極顯著。依據臺糖公司之調查資料顯示，全省蔗園之土壤有機質含量在 1%左右，遠較全省農田土壤之平均值爲低。可見水田耕作較旱田耕作對土壤有機質之維持或聚積更具效益。

根據林家棻(1986)之研究報告指出臺灣地區之水田土壤有機質含量在 1.0%以上，配合良好之肥培管理即可有 6 噸／公頃之產量，而且產量並不隨著土壤有機質之增加而增加。一般稻田土壤有機質含量高而排水良好者，稻穀產量多高，台灣西部稻田產量在 6.5 噸/公頃至 7.0 噸/公頃爲基準，對黏板岩沖積土與砂頁岩板岩混合沖積土之有機質臨界值推估在 3.0% 上下。本省農田土壤有機質含量偏低爲一事實，在水田耕作情形下，土壤有機質含量或可稍累積，然在長期旱田耕作下，則土壤有機質消耗加快。

二、四十年來臺灣農田土壤有機質含量之變化趨勢

一般認爲施用化學肥料會加速土壤有機質之分解，但在英國洛桑試驗場之長期試驗與省農試所之四十年長期試驗皆証明施用化學肥料之試區其土壤有機質含量雖低於施用堆廄肥區，但高於不施用肥料區(Jackinson,1994；林,1979)，由此可知施用化學肥料並不減低土壤有機質含量(連,1995)。

臺灣地區分別在 1949 至 1950 年、1959 至 1967 年、1978 至 1981 年及自 1992 年起（進行中）進行四次不同目的之土壤肥力調查，各次調查皆把瞭解當階段之土壤肥力狀況當為其中目標之一。除第二次與第四次正進行中之調查採樣之密度接近外，且可以鄉鎮等小區域面積相互比較肥力之變化，其它調查資料因受制於土壤之變異性及樣品之代表性等問題，實無法正確進行不同年代之土壤有機質含量之比較。

自民國八十一年開始進行之全省農田土壤肥力調查資料顯示，調查之各鄉鎮農田土壤有機質之平均含量四十年來之變化幅度很大（表三），除大社鄉之土壤有機質不增加外，其餘鄉鎮皆增加，增加量由 0.26% 至 1.13%，增加顯著；其結果與一般大眾所憶測不同。

表三、四十年來部分鄉鎮農田表土土壤有機質含量之變化

地點＼年別	土壤有機質含量（%）			
	1950	1967	1981	1994
新城鄉	2.30± 0.38 (7)	2.34± 0.88 (142)	2.52± 0.93 (21)	2.60± 1.17 (213)
吉安鄉	2.35± 0.33 (3)	1.44± 0.41 (273)	2.21± 0.57 (21)	2.24± 0.66 (494)
池上鄉	-- (0)	2.69± 0.57 (160)	2.89± 0.63 (19)	3.39± 1.04 (493)
卑南鄉	2.83± 0.94 (18)	2.10± 0.75 (160)	2.89± 0.82 (19)	2.64± 0.88 (502)
大社鄉	1.81± 0.43 (4)	1.36± 0.49 (161)	1.57± 0.75 (8)	1.34± 0.61 (220)
永康市	1.21± 0.52 (6)	1.00± 0.36 (303)	1.10± 0.42 (5)	1.61± 0.56 (308)
彰化市	2.53± 0.31 (6)	1.80± 0.83 (426)	2.44± 0.63 (20)	2.93± 0.96 (469)
和美鎮	1.49± 0.36 (7)	1.92± 0.56 (329)	2.06± 0.54 (42)	2.66± 1.40 (522)

平均值+標準偏差　　(樣品數)

各鄉鎮農田土壤有機質含量之變化究其原因，乃是受耕作制度、地形、都市化效應、農田管理及施肥量等因素之影響。以大

社鄉爲例，因該鄉地勢較高，農田屬於非灌區，且位於高雄市、工業區邊緣，農民大都爲兼業且以栽植旱作、果樹作物爲主，管理大都粗放，故土壤有機質含量不增反略減；相對於卑南鄉，亦以栽植果樹爲主，但農民專業且注重農田管理，作物殘體大都皆混入土體中，雖土層淺薄，但土壤有機質含量增加；新城鄉農田大半爲砂地或石礫地，土壤有機質不易累積，但當地新城圳完成後，對於部分農田有機質之增加有顯著效益；又當地農民漸以木瓜、蔬菜栽培爲主，除農民施用有機資材外，收穫後之作物殘體目前已普遍翻入農田，故土壤有機質含量增加。其他地區大都維持水田耕作環境或較三十年前改善灌溉條件及施肥量增加，故土壤有機質含量可以維持或增加(臺灣省農業試驗所等,1996)。

本調查亦發現許多鄉鎮，如：池上、吉安之新開墾區在經過三十年之農田管理經營，對於土壤有機質含量增加甚多，是爲該鄉農田土壤有機質含量增加之主因。池上鄉位居中央山脈與東海岸山脈之谷地，日照少，土壤水分多，且多爲水田栽作，土壤有機質含量高；又新墾區之土壤肥力逐漸改善，故全鄉之土壤有機質含量增加。彰化市農田土壤有機質增加最多，應爲該區部份農田在八七水災曾遭沖毀，土地貧瘠，後農田逐漸復舊，土壤有機質漸增，以及近年社區廢水攔入大量有機物質入田所致。在南部之永康、西港、佳里、七股及安定鄉，目前各鄉農田土壤有機質含量平均值在 1.5%至 1.7%之間與 1978 至 1981 年間調查本區域之土壤有機質含量相近，但與 1959 至 1967 年間此五鄉鎮分別比較，高出範圍約在 0.3%至 0.5%之有機質含量，沿海鄉鎮如七股鄉增高較少，內陸鄉鎮增高較多。嘉南平是水旱輪作田區，自 1973 年曾文水庫完成後，又農民廣汎鑿井灌溉，臺南近海地區農田栽植水稻次數增加，應爲本區現今較三十年前土壤有機質增加之原因之一。

林家棻氏(農試所年報,1982)在第三次調查時已注意到農田土壤有機質含量不減反增之現象並提出下列觀點：他認爲這些年來全省農田土壤有機質含量是增加的，此種現象，推測可能因爲

在當時耐肥水稻品種出現，經濟好轉，化學肥料施用量增加，單位面積稻穀產量亦普遍提高，殘留於土壤中之莖稈、稻根量亦相對提高，因而導致土壤有機物含量增加。依據英國洛桑試驗場(Jackinson,1994)之長期試驗結果顯示各種人爲之操作影響土壤有機質之變化，其平衡時間大約爲 20 至 40 年間，這些調查鄉鎮之到農田土地利用大都以定型，故其農田土壤有機質含量，應已接近平衡。

三、土壤有機質之管理對策

土壤有機質之管理首先要瞭解施用有機物質之目的，我們期望其所扮演之角色與評估其可能帶來之影響；同時也應瞭解這麼多種類與性質的有機物質，如何去挑選類別以配合我們施用之目的，也需要估算應投入多少量，才能達到預期之目標，此外經濟之效益也應列爲考慮之重點。

以土壤有機質肥效而言，Buchner 等（1975）估計歐洲集約農業作物(旱作)需氮素 155 公斤，有 83 公斤由化學肥料得來，10 公斤由雨水獲得，40 公斤由土壤有機物質獲得，10 公斤由共生固氮獲得，10 公斤由非共生固氮獲得，另種子含 1.5 公斤。故作物大約 62%之氮素養分來自無機態，38%之氮素養分來自有機態。但是以水稻而言，在日本一般管理下之水稻，估計水稻吸收之氮素約有 60%由土壤有機質及固氮作用所提供，40%爲化學肥料所提供。這兩者之差異應是作物吸收肥料的特性所產生。

Yamazaki 曾對日本北陸地區富山農試場之長期試驗資料分析，指出每年投入鮮重 45 噸／公頃之紫芸英，經過 14 年後卻仍無法阻止土壤氮及有機質之消耗，然本處理仍較對照組有稍高之土壤腐植質；經過施用 14 年之綠肥，僅有全部施用量 6%之有機質存在土體。又 Russell 則認爲綠肥在提供有效態氮與累增土壤有機質是不可併行的，因涉及植體組成分變化之故。王世中等曾對臺灣蔗田綠肥肥效進行評估，並引述多國文獻認爲栽培綠肥

行政院農業委員會農業試驗所藏書

要增進土壤有機質是很難辦到。連等近年在本省中南部之試驗亦有類似之結論，並認為栽培田菁而促使玉米增產乃由於田菁根系改善土壤物理性之原因。王等認為臺灣高溫多雨，綠肥分解迅速，既使在乾季施用綠肥，可使土壤有機質增加，但隔年一遇雨季，綠肥分解，土壤有機質即殘留甚少。大抵綠肥之效果在提高當作之養分供應，另深根綠肥或可將底層養分汲出於地表土。王等亦認為一作綠肥僅能節省 38 公斤無機氮，在當時之條件下極不合經濟效益，並認為栽植牧草為增加土壤有機質之最速方法，或與其他作物輪作，宿根栽培甘蔗等可增加土壤有機物。所以樹園地要增加土壤有機質含量可以全園草生栽培方式達到目的。

Larson 在美國愛奧華州之濕潤黑沃土試驗指出如果每年栽植玉米，則每年約需投入 5000 公斤／公頃碳素之植物殘體，方可維持表土層之土壤有機碳含量為 1.8%。可見在一般耕作制度下要維持土壤有機質之含量是相當的困難，需要有相當的投入有機資材；而所投入之有機資材又有相當之量是因分解而損耗的。

有機資材扮演之角色可能是為補充養分，或改進壤之物理性，或改進土壤化學性，或改進土壤生物性，或只是廢棄物之利用。我們應依據不同之施用目的當選用適當之有機資材(表四)。

表四、各種有機資材之特性與施用效果

有機資材類別	原料	施用效果			施用應注意事項
		肥效性	化學性改良	物理性改良	
堆肥	稻稈及果蔬殘體	中	小	中	最可安心施用
牛糞廏肥	牛糞尿及敷料	中	中	中	由施用量多寡決定肥效
豬糞廏肥	豬糞尿及敷料	大	大	小	由施用量多寡決定肥效，注意鹽分、重金屬累積
雞糞廏肥	雞糞尿及敷料	大	大	小	同上
木質牛糞混合堆肥	牛糞尿及木屑	中	中	大	防範未腐熟之木屑帶來虫害
木質豬糞混合堆肥	豬糞尿及木屑	中	中	大	同上
木質雞糞混合堆肥	雞糞尿及木屑	中	中	大	同上
樹皮堆肥	樹皮為主體	小	小	大	同上
粗糠堆肥	粗糠類	小	小	大	物理性改良為考慮
都市垃圾堆肥	家庭廢棄物等	中	中	中	注意塑膠及其它雜物混入
下水道污泥	下水道污泥	大	大	小	注意石灰添加物之含量及重金屬含量
食品業廢棄物	食品產業廢棄物	大	中	中	由施用量多寡決定肥效

(轉譯自日本農業研究中心：農耕地有機物施用技術)

有機資材之肥效效果一般所指為氮素含量，是由資材之碳/氮比所決定，豬、雞糞堆肥及下水道污泥或食品業廢棄物等碳氮比偏低，所以肥效較大，樹皮堆肥、粗糠堆肥等難分解之有機資材肥效低，如果以肥效考慮選用有機資材時，自可分辨清礎；化學性之改良效果主要是以提昇土壤中之鈣、鎂、鉀等鹽基及磷素量而言，豬、雞糞堆肥及下水道污泥之鹽基及磷素含量高，自是考慮選用之對象，但應注意長久施用後對養分平衡及重金屬累積等問題；物理性則是對於土壤之孔隙與保水性為考量，當選擇施用不易分解之有機資材如：樹皮堆肥及粗糠類、木屑混合堆肥類等有機資材。但各類堆肥需考慮是否腐熟，以避免施用後產生缺

乏氮素問題、有毒氣體(特別是家畜糞尿及污泥)及有害物質(特別是木質類堆肥)等問題，危害作物生長。

在有機資材之施用量方面，首先需考慮作物之養分需求量及有機資材之分解率(或是元素之有效化率)，特別是氮、磷素。施用之有機資材供應之有效養分外，才以化學肥料補足。但是連年施用有機資材，則需考慮殘餘物累積之釋放量。日本之田間試驗資料爲例，以以低肥效之稻稈堆肥爲資材，每年每公頃施用 20 噸之堆肥，前五年大抵爲蓄積效果，並無明顯氮素釋出，連用 10 年後約可穩定釋出 5(水田)至 7(旱田)公斤氮素，施用 40 噸堆肥則約爲釋出 10 至 15 公斤氮素，施用 80 噸堆肥則約釋出 20 至 30 公斤氮素。因此可以得到結論爲施用多量的堆肥並無法成幾何級數的增加氮素釋出，而是以等比例的釋出氮素。

連用一些有機資材必需注意其造成之養分不平衡問題，著者等近年調查本省農地之土壤養分狀況，注意到土壤磷之累增相當驚人，有些樣點甚已達影響其它養分吸收之濃度，特別是一些栽培經濟作物之樹園區。因爲農友偏好禽畜糞等高肥效之堆肥故，爲了施用達到作物需求之氮肥量之堆肥而使土壤中磷素過多，與其它養分產生拮抗作用並汙染環境。又有些有機資材連用後，造成土體中交換性鈣、鉀鹽基之增加，但鎂素卻不足之養分不平衡問題。又一些禽畜糞堆肥、皮革類爲原料製成之堆肥及污泥含有偏高之重金屬成分，常期或大量的施用於田間後會造成土體中重金屬累積問題，汙染農地與作物品質，甚至地下水源等，著者等在南部一些果樹園地調查，發現部份樹園地土壤因施用大量有機資材造成局部土壤累積高濃度之重金屬已明顯；這些施用有機資材而引發之問題，我們應以更積極的態度處理。

有機資材之施用方法亦需隨著需求而改變，一般有機資材的施用可分爲全面表層混合、表面撒施、溝施或條施、深層施用及局部施用等。臺灣地區一般作田以表層混合方法施用爲多，樹園地則以溝施、袋施或條施爲主。 不同的施用方式會造成不同的效應，以全面表層混合施用有機資材爲例，因爲有機資材與土壤

充分混合，會促進有機資材之分解，如果有機資材之碳氮比偏高會造成缺氮之現象，如果碳氮比恰當則在短期內會釋出大量之氮肥。如果改爲溝施則有機資材分解局限於小區域，肥分之釋出形式與全面混合施用不同。

有機資材之施用方法意也需土壤之性質，黏重土以粗大有機資材全面混合施用爲宜，粗質地土壤宜以深層施用或溝施爲宜。深層施用有機資材一定要完全腐熟方可，避免造成作物生長之障礙。

有機質肥料合理化施用與環境維護

陳琦玲、張瑞明

行政院農業委員會農業試驗所農業化學系

一、摘要

人類是地球生態系之一員，並且賴此生態系維持生存。人類農業活動亦可能爲環境帶來衝擊，對此生態系造成破壞。面對目前全球嚴重的三大問題，人口急增、資源短缺和環境污染問題，施用肥料以提高農業生產，應付急增的人口問題，是必要的手段。然而大量施肥所造成的非點源污染，在繼工業廢污後受到更多關注。無論就化學肥料或有機肥料過量或不當的施用，除了影響生產品質，亦可能對環境造成衝擊，如地下水質劣化、水體的優養化、溫室氣體的釋放等問題，不僅降低環境品質，並可能導致全球溫暖化、氣候變遷等問題，足見合理化施肥之重要性。台灣農民普遍有過量施肥之習慣，爲維持生態平衡與環境品質，可藉土壤與葉片營養診斷、參考施肥手冊等方法，評估合理的施肥量或調整施肥的方式，一方面降低成本、節省資源，一方面使農業生產與環境保護可以兼顧。爲防範禽畜糞堆肥所含重金屬污染農田，應注意總施用量，不能超過土壤所能承載之最大量。本文亦檢討長期施用有機質肥料對土壤地力增進之效果，及應注意事項。

二、前言

在生命世界中的組成，究其根本，由物質和能量所構成，能量在宇宙中是不滅的，構成生命世界所需要的物質在地球裡也是不滅的，全取材於地球，只在生物及非生物世界中流轉。如氮元素是蛋白質的組成之

一，因此氮的物質循環在自然界相當重要。大氣中含有 78%的氮，但這種形式的氮只能為生物圈中少數的固氮微生物利用，土壤中的含氮礦物才是大部分生物體中氮的來源。植物體以養分的形式吸收這些含氮物質，這樣氮元素才真正進入食物網，然後它在生物體間流轉。動物體的排泄物及動、植物的遺體經微生物分解的結果，使氮元素重返大自然。

我國祖先很早即懂得種植作物，除發展犁田、中耕、除草等方法，更懂得將動物排泄廢棄物、植物之殘體，回歸於農地，使之不至因耕作而消耗，如此耕作制度合乎自然生態體系與物質循環，符合目前永續農業發展之精神。但自化學肥料研發問世後，由於其肥效之快速及增進作物產量之效果顯著，又因農村勞力不足，化學肥料遂逐漸取代有機肥料，有機質肥料甚而完全被遺棄而不用。近年來由於環保意識的抬頭，及考慮減緩非再生資源消耗速度，致使有機質肥料的使用再度受到重視。此外，台灣目前每年有一千二百餘萬噸的農業廢棄物，若隨便排放，將對環境造成很大的衝擊。廢棄物直接農用或經堆肥化製成堆肥後再施於農地，為處置農業廢棄物，又增加土壤生產力的常見方法，唯過量或不正確的施用，仍會對土壤、環境、人畜健康及作物生長造成傷害。

三、過量或不當的施肥對環境的衝擊

自從 1972 年 6 月聯合國在斯德哥爾摩舉行”人類環境會議(UN Conference on Human Environment)”提出”只有一個地球”主題後，加強了全球人類對目前面臨問題的警覺與共識，當前最嚴重的問題是人口爆炸，資源短缺和環境污染。因應人類糧食需求施用肥料追求農業增產是必要的手段。然而在環境保護上肥料是農業的非點污染已繼工業廢污之後受到更多的關注(王等，1994b；劉與徐，1994)。

植物質的有機質肥料出於農田又歸於農田，較不會對環境造成衝擊，動物質肥料或堆肥則因飼料或加工之添加物，可能在農田累積，而對作物、人畜造成傷害。家庭或工業廢棄物製成之堆肥則可能因含植物不能利用之物質，甚至是毒物質，而對環境、作物、人畜造成傷害，使用前應確實得知製造過程是否將雜質濾出。豆粕與禽畜糞尿在農田的分

解快速，即使是堆置過的堆肥，雖然其養份的釋出，需藉著微生物的分解，其大量要素對環境的衝擊應較化學肥料緩和，但過量的施用，超過農田所能涵容時，過多的氮肥隨雨水或灌溉水而進入地下水，造成飲用水質變劣，或經脫氮作用形成溫室氣體釋入大氣中，導致溫室效應與氣候變遷；過多的營養素流入環境中，亦會造成水體的優養化，這些後果對於我們的未來及後代子孫的生存都相當的不利。除了環境問題，還有資源存量問題。根據調查，以目前使用量，全球磷、鉀礦蘊藏量，僅可維持未來三、五百餘年，即將耗盡。

(1)肥分之流失

硝態氮(NO_3-N)通過土壤進入地下水系統，影響飲用水水質之發現已有半世紀的歷史(Campell et al., 1954)。飲用水中硝酸根導致藍嬰症(blue baby syndrome，學名 methemoglobinemia)之濃度在人類尤低於家畜(45mg/l vs. 200mg/l)(Lal and Stewart. 1994)，硝酸根與胺(amine)或醯胺(amide)結合而成亞硝胺(nitrosamine)及亞硝醯胺(nitrosamide)類化合物，其中 80%經證明有致癌性(OECD, 1986)。地下水之氮素污染源主要來自放牧動物排泄物或氮素肥料的使用管理不當。依據林等(1999)屏東地區地下水之分析結果，發現部分地區之無機態氮與銨態氮濃度，已超過飲用水標準，是畜牧業或施肥引起，值得探究。

另一個值得注意的是磷的淋失，根據郭等(1999)在北部水田、中部水旱田及南部蓮霧和檳榔園等監測點的調查分析，發現在中部彰化的水旱田有明顯的磷淋失現象(表3)。在一般的耕作下，磷在土壤中易被固定，故在下層土壤的含磷量都低。但在粗質地淋洗量充足的地方，仍會往下層土壤淋洗，故在粗質地耕作仍需留意營養源的流失，而減少施肥量或調整肥料施用的方式。

除了肥分往下淋洗，恐污染地下水外，隨著降雨或灌溉，亦有可能隨著逕流入水體而造成優養化。常見者為水源水庫滋生藻類，渠道埤池滿佈布袋蓮、雜草，影響環境衛生。水質優養化，水中微生物大量繁殖，溶氧量耗盡，魚類無法生存，此外銨態氮及有機磷對魚類有劇毒，能使魚類大量死亡。引用受氮磷污染之灌溉水就如同施過量之肥料，常造成水稻插秧期受鹽害死亡，生長初期分蘗特多，但為無效分蘗，抽穗期後

多有倒伏，成熟期腐爛枯死，溼熱季節誘發稻熱病等現象。日本亦有報告指出每公頃施用 100 公噸豬糞堆肥，即造成硝酸態氮污染地下水，且有機物含有相當量的磷，可隨表面逕流污染河川水源。台灣高溫多雨，有機質肥料的分解快速，預期施用量低於 100 公噸，即會對環境造成衝擊。

爲防止施用之有機質肥料隨逕流流失，應避免將有機質肥料施用在陡坡地的土壤表面。並且最好能將其直接注入土層中或藉耕作方式將其混入土壤中，以減輕表面逕流的流失。此外，做好水土保持工作，如利用覆蓋或敷蓋植物之方式，亦可減輕表面逕流及淋洗現象。荷蘭農業從業人員，甚至在田區的四邊都不施肥，以防肥分隨逕流入其他水體，其對環境之關注，值得敬重與效法。

2)溫室氣體的排放

在常態(即自然演變)下，主要由於火山的活動及全球生態系統的運轉，全球的氣候以百萬年爲時間單位，緩慢而漸進式的改變。但是，由於人類的活動，主要係石化能源的長期(尤其自 19 世紀工業革命以來)大量的使用及人造化學品的產製，增加了大氣中的溫室效應氣體(如二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、氟氯碳化物等)的濃度，增強了溫室效應(greenhouse effect)，導致地球表面溫暖化，並加速氣候的變遷。

農業部門釋出之溫室氣體雖不及能源部門釋出之大量，但主要是甲烷與氧化亞氮，而甲烷吸收輻射的能力是二氧化碳之 30 倍，而氧化亞氮吸收輻射之能力則爲二氧化碳之 150 倍左右(Kimura et al., 1991；Wang et al., 1976)，甲烷與氧化亞氮在大氣中之含量雖遠小於二氧化碳，但其對地球增溫所產生之影響卻隨人類文明之進步而大幅增加(Bartlett and Harriss, 1993)。而農業生態系提供 N_2O 釋放量約佔生物圈釋放量之 70％至 80％(Mosier et al., 1996)，

土壤中，80％之甲烷是在還原環境下，由一群極端厭氣之甲烷菌(Methanogens)分解有機物所產生(Ehhalt and Schmidt, 1978)，因此常發生於濕地與浸水水田土壤中，畜產業亦釋出一部分甲烷。甲烷爲可利用能源，許多國家已研究並利用之。

土壤 N_2O 之釋放，主因氮肥之施用，生物共生與非共生固氮作用，

及土壤有機氮素礦化作用所致(Cole 等，1995)。據目前所獲資料，全球每年因施用氮肥而排放 N_2O 量約爲 3.01 百萬噸，約佔人爲排放爲 N_2O 量之 70%。目前全世界化學氮肥使用到農地每年約爲 77.4 百萬噸，廄肥氮用作爲氮肥之量約含 74.9 百萬噸。全球農地因施用化學氮肥而排放之 N_2O-N，每年約爲 1.53 百萬噸，因施用廄肥而排放約爲 1.49 百萬噸，再加上豆科固氮所生成之 0.5 百萬噸，則全世界每年由農耕地排放之 N_2O-N 總量約爲 3.5 百萬噸（範圍爲 1.8 至 5.3 百萬噸）(趙，1997)。足見等量存於堆、廄肥中之氮素，轉成爲 N_2O 之比例尙高於化肥。從田間長期試驗與實驗室孵育試驗亦顯示，由於施用堆肥處理的土壤水分含量較化肥區高，脫氮作用亦較強，因此釋出之 N_2O 亦較高。

土壤釋出甲烷與氧化亞氮的多寡，受土壤、氣候、植生、田間管理等因子之影響(Eichner, 1990；Mosier, 1994；Sass et al., 1994；Trolldenier, 1995)。影響因子相當複雜。目前有許多研究人員從事於農業栽培管理技術之研究，欲使農業生態系中所生成之甲烷與氧化亞氮之總量下降，而達減量之目標。其中以提高肥效的減量效果最佳。

3)農地鹽分的累積：

無論化學肥料或有機肥料的施用都有可能造成農田鹽分的累積。特別是直接施用禽畜糞或以禽畜糞製成堆肥施用者，因爲一般在飼養禽畜時，爲了促進它們的生長速度及增強它們的抵抗力，往往在飼料中會添加一些無機鹽類，使得禽畜糞的可溶性鹽類較高，故大量施用禽畜糞時，會使得土壤累積過多的可溶性鹽類，而導致土壤導電度(EC 值)增高，如此不但不利於作物根系對水分和養分的吸收，且會逐漸破壞土壤物理性而降低土壤的品質。

特別是在施肥量較大的蔬菜專業區，西螺蔬菜專業區之施肥量，一年三要素每公頃用量幾近十噸，換算成肥料，則用量更爲驚人，因而導致土壤累積多量的肥料鹽分，使植體吸收累積多量硝酸態氮，同時淋洗污染地下水源(吳，1997)。另外，設施栽培土因沒有天然雨水的淋洗，鹽分容易累積於表土，根據(陳，1995b)設施栽培土壤鹽化之調查，顯示設施栽培，土壤鹽化程度較一般栽培爲烈，同時隨栽培時間之增加而加深鹽化現象。

4)農地重金屬的累積：

根據分析，台灣禽畜堆肥以銅、鋅、鉻、鎳含量較高。這些高含量之銅、鋅、鉻、鎳之來源主要爲飼料中銅、鋅之添加，以及在堆肥製作過程中皮革粉之添加(添加鉻酸、鎳酸來搓揉皮革，其鉻、鎳含量分別佔皮革粉中之 5.4%與 0.03%)之故。依黃與戴(1995)所述旗山試區有機農耕法玉米總穗收穫量爲 10.6 公噸，換算銅移走量爲 37 克，而鋅移走量爲 107 克，此量僅爲施入量之 3%，故造成土壤中 0.1N 鹽酸萃取銅、鋅量逐年增加。此外，根據許多的實驗室與田間試驗指出，大部份之重金屬要污染地下水是不可能的，除非在很砂質地的土壤及淺層的地下水條件下。因此，堆肥中重金屬在農田表土的累積問題要注意。將於後節中介紹由堆肥中所含重金屬及農田可承受的最大承載量估算每年合理的施用量。

5)環境衛生與空氣品質

禽畜糞常含蟲卵，病原菌並會產生臭味，直接施用於農地後易危害作物的生長及污染周遭環境和衛生。最好能經過堆置醱酵殺菌後，再施用於田間。堆肥堆置的地點應考慮與住家及水源之距離，並配合風向，以防堆置過程逸出之氣味影響空氣品質。堆肥或有機肥料必需有較大的儲存設備，以應季節需要並避免逕流淋洗對環境之衝擊。

四、防範重金屬污染之有機肥最大承載量評估

爲防範重金屬污染農地所估算之有機肥最大承載量評估，可依陳(1995a)之估算方法。假設土壤中重金屬之最大可承載濃度(Maximum Loading Concentration, MLC)之估算爲土壤中重金屬之管制值與背景值間之差，可用下式表示：

最大可承載濃度＝管制值濃度－背景值濃度---------------------(1)

土壤重金屬含量之背景值通常是一個含量範圍值，爲計算方便起見，現以背景值之平均值爲基準來估算最大可承載濃度，其結果如表 1 所示。如依王銀波等人(1994a)，其最大可承載濃度分別爲 As11.1 mg/kg，

Cd1.2 mg/kg，Cr157 mg/kg，Cu128 mg/kg，Hg0.8 mg/kg，Ni78 mg/kg，Pb60mg/kg 與 Zn110 mg/kg。依此結果，可計算在 1 公頃範圍內表土 20 公分土壤中(假設容積比重為 1.2 Mg/m^3)，可添加之最大承載重量(Maximum Loading Capacity, MLC, kg/ha)應為 As26.6 kg/ha，Cd2.9 kg/ha，Cr377 kg/ha，Cu307 kg/ha ，Hg1.9 kg/ha，Ni187 kg/ha，Pb144 kg/ha 與 Zn264 kg/ha。

依據表 1 中之最大可承載量(MLC)之推估，再依據堆肥中重金屬之濃度，即可很容易計算出最大堆肥施用量，其計算式如下：

$$\text{最大堆肥施用量（tons/ha）} = \frac{\text{最大可承載估算量(kg/ha)}}{\text{堆肥中重金屬濃度(mg/kg)}} \times 10^3 \text{--------(2)}$$

例如在表 1 中，土壤中最大可承載銅量為 307kg/ha，而堆肥中重金屬銅濃度允許上限為 300mg/kg，依上式公式，我們可添加之最大堆肥重量為 1000 噸/公頃左右。因此，在確保土壤中重金屬不會超過污染管制值之情況，我們依堆肥中重金屬可能濃度狀況下，估算其最大施肥量如表 2 所示。但在肥料規定中重金屬含量上限條件下，估算豬糞堆肥之最大施用量為 Cu3000 噸/公頃，Zn500 噸/公頃，Cr2330 噸/公頃與 Ni7200 噸/公頃。因此，綜合來說，在此上限濃度下之最大施用量最好控制在 500 噸/公頃以下。

為考慮對土壤、作物及環境之品質，建議合理施用量應為估算最大施用量之一半較為安全，最好不要超過 250 噸/公頃。但如將生產堆肥之過程中，其重金屬濃度控制在銅 100mg/kg 及鋅 200mg/kg 以下，則最大施用量可達 1250 噸/公頃，而建議合理施用量為 600 噸/公頃左右，可確實增加土壤中之有機質含量且可確保土壤品質，不會受到重金屬污染。

以上之估算，乃以有機肥料中重金屬含量上限，概估其最大施用量，亦可以有機肥料中實測之重金屬濃度計算，若每年累用的堆肥量已超過最大容許量，即應停止施用，並在施用安全期限內，採土樣檢測，

以了解重金屬累積情形，再計算可施用之最大量，以確保土壤品質。並詳實記錄每年的施用量，以避免施用總量超過安全施用量。

五、有機質肥料特性與地力增進效果

可用於肥田的有機資材種類甚多，但就有機質的主要功能來劃分，一般可分爲易分解型與難分解型，前者以供應養分爲目的，養分含量高，且釋放速度亦快，目前國內較常用的易分解型有機質肥料爲油粕類、綠肥、禽畜糞等，難分解型有機資材，則含有較多的木質素與穩定腐植質，在土壤中的分解速度較慢，雖也提供部分養分，但仍以改善土壤物理化學性質，促進土壤微生物活性，使作物根部有良好生長環境爲目的。國內常見的難分解型有機質肥料，多是以作物殘體及農產廢棄物堆製腐熟的堆肥，由於在腐熟過程中，易分解物質已被微生物利用，故堆積後，難分解之木質素與腐植質成分比例增加，可在土壤中維持較長的時間。泥炭的分解速度更慢，屬於土壤改良劑資材。

由台北水田長期試驗顯示，化肥區較無肥區有更多的土壤有機質累積綠肥之施用對地力之增進不大，僅較化肥區維持稍高的土壤有機質含量(張等，1947；林等，1973)。長期施用堆肥對有機質之累積雖不及溫帶國明顯，但仍可增加土壤有機質的含量。在每年 2.8 公噸/公頃碳量(18 公噸/公頃 鮮重)的施用下，連續施用 48 年，土壤有機質只增加 1%，只有總施用量的 5%留於土壤中，顯示在台灣高溫潮溼的環境下，土壤有機質不易維持在高的含量，旱田的有機質分解更快，故欲藉有機質肥料的施用，提高地力，亦屬不易。在目前有機質肥料昂貴的情形下，其經濟效益低。但有學者認爲能增加 1%有機質對土壤肥力的提升或土壤性質的改善已有很大的助益。

長期連續施用綠肥，對土壤有機質含量的提高非常有限，其功效在於對當期作養分的循環利用與土質改善，在北部水田中施用與化學肥料等量氮素之青皮豆，在連用 48 年，土壤有機質僅較化肥區多 0.2%之有機質。在屏東水稻與大豆輪作田將地上部作物殘體連續 14 年混入土壤中，亦僅增加 0.1%之有機質。

對於易分解資材在當期作養分的供應量較容易估算。連年施用有機質堆肥，則除了當作所施有機肥料可礦化之養分量外，亦要評估土壤中累積之既有有機質之礦化量。堆肥在施用初期因礦化率較低，肥料率概低於施肥量相當的化學肥料，連年施用後，因其分解殘餘之有機質逐漸累積，礦化率漸增，肥效率才漸接近於施肥量相當的化學氮肥，此累積之礦化率，理論上，不超過 100%，故其肥效在本質上並不超過施肥量相當之化學肥料。此可由投入等量氮量之長期試驗中，堆肥區在初期之產量不及化肥區，數年後可趕上化肥區者，而得到証實。在溫帶國家由於溫度低，堆肥的礦化率亦低，可建構豐富的有機養分貯存庫，但另一面必須持續更長的時間堆肥的累積肥料率才與化肥區者相同。

我國的氣候條件，既有利於有機物養分的循環利用，但欲以施用有機質肥料，提高土壤有機質含量以提昇地力，在施用大量有機質肥料過程中，需注意有機質肥料分解，釋出過量氮素，導致作物品質降低且造成環境二次污染。因此需按有機質肥料的分解特性，估計合理的施用量。

六、土壤與植體營養診斷之應用

作物對養分之需求，因氣候與土壤特性、管理條件而異，因此合理的施肥量推算，需考慮許多因素。目前農試所的土壤資訊系統已提供上網查詢之服務，可提供各地區農田土壤資源分佈、土壤肥力動態、土壤生產力等資訊，供地方土壤肥培管理之參考；與農林廳、各改良場亦共同編製作物施肥手冊，包括水稻、蔬菜和果樹等一百多種作物之施肥方法，可提供農民施肥之參考。另外，在農委會與農林廳的經費補助下，農試所與各區改良場都有土壤與植體營養診斷分析服務(陳與連，1989)，農民可自行採樣或請農會服務人員指導採取適當的土壤與葉片樣品，寄至分析中心，以得到診斷及施肥推薦書，再配合現場的複查，施用肥料，可增加作物對所施肥的利用率，並避免肥料的浪費或對環境造成污染。

七、結語

本省農產廢棄物甚豐，而大部分農產廢棄物都含有大量的有機物及多種植物所需的營養要素，若能有效的管理及正確的施用於農地，除了可達到資源回收再利用的目的外，亦可增進土壤的地力，促進作物的生長，並可減輕對環境及自然生態的衝擊。唯過量或不正確的施用，仍會對土壤、環境、人畜健康及作物生長造成傷害。施用有機質肥料應注意下列事項：

1)由於台灣環境高溫多溼，不利於土壤有機質的累積，無論施用有機質肥料，是以養分供給或是增進肥力爲目的，都需要按著有機質的分解速度，估算合理的施用量，以避免過量氮素釋出，導致作物品質降低又造成環境二次污染。

2)爲防止有機質肥料，隨逕流流失及污染地下水，應避免利用休閒地及在暴雨季節施用肥料或處理有機廢棄物。對於透水性高之砂質土壤或砂礫地尤應注意施肥量及施肥方法，避免污染地下水。堆肥或有機肥料必需有較大之儲存設備，以應季節需要並避免淋洗逕流對環境之衝擊。

3)爲避免因施用禽畜糞堆肥而造成農田土壤之重金屬污染，除建議由飼料添加物管制外，另亦依農業土壤中重金屬含量之背景值和環境之污染管制值，提出豬糞堆肥之最大可施用量參考值 500 公噸/公頃，安全施用量約爲 250 公噸/公頃以內。建議詳實記錄每年的施用量，以避免施用總量超過安全施用量。

4)爲保持環境衛生及空氣品質，堆肥堆置地點應盡量遠離住家與水源，並注意風向，以防堆置過程逸出之氣味影響空氣品質。施用於農田，亦盡可能覆土，以防引來蒼蠅，影響環境衛生。

八、參考文獻

1.王銀波、陳尊賢、劉文徹、吳先琪、趙震慶、李國欽、王榮德。1994a。土壤品質基準－總論。行政院環保署委託計畫報告(EPA-83-E3H1-09-02)。台北市。

2.王銀波、譚鎭中、黃紋賓。1994b。肥料施用與土壤水中銨與硝酸根之分佈I、蔬菜園與水稻田之比較、土壤與肥料污染研討會論文集。pp.131-143。

3.吳正宗。1997。飲水與蔬菜中硝酸鹽的來源與減量對策。土壤肥料通訊。第 61 期。pp.13-16。

4.林家棻、李子純、張愛華、陳卿英。1973。長期連用同樣肥料對於土壤化學性質與稻谷收量之影響。農業研究 22(4)：241-262。

5.林木連、郭鴻裕、朱戩良、劉禎祺、彭宗仁。1999。屏東平原地下水水質變化研究。第三屆地下水資源及水質保護研討會論文集。元/13,14。中央大學。中壢。

6.張守敬、林家棻、步焱昇。1947。同種肥料連用對於水稻產量及土壤理化性之影響。台灣農業試驗所彙報。第 3 號：18-41。

7.郭鴻裕、朱戩良、江志峰。1998。農田土壤肥力劣化問題之檢討。台灣省農業試驗所 86 年年報。

8.陳琦玲、連深。1989。果園土壤及葉片營養診斷資訊系統之初擬，果園作物營養診斷應用研習會專輯。台灣省農業試驗所特刊第 28 號。p.85-115。

9.陳尊賢。1995a。長期施用豬糞堆肥對土壤中重金屬之累積及合理施用量之評估。有機質肥料合理施用技術研討會論文集。pp.200-214。

10.陳鴻堂。1995b。設施土壤肥料問題解決對策。設施與集水區土壤肥料講習專刊。中華土壤肥料學會編印。P.18-38。

11.黃賢喜、戴順發。1995。有機農業可行性之研究。八十三年度土壤肥料試驗報告。農林廳編印。

12.趙震慶。1997。氧化亞氮與氮肥。土壤肥料通訊。第 61 期。pp.17-20。

13.劉玉雪、徐玉標。1994。台灣省嚴重污染灌區之土壤、作物與地下水之惡化調查(高雄二仁溪灌區)，83 年農業工程研討會論文集。pp.217-229。

14.Bartlett, K. and R.C. Harriss. 1993. Review and assessment of methane emission from wetlands. Chemosphere. 26:261-320.

15.Battle, M., M. Bender, T. Sowers, P.P. Tans, J.H. Buter, J.W. Elkins, T. Conway, N. Zhang, P. Lang, and A.D. Clarke. 1996. Atmospheric gas concentrations over the past century measured in air from firn at the South Pole. Nature 383:231-235.

16.Campell, J.B., A.N. Davis, and P.J. Myhr. 1954. Methemoglobinemia of livestocks caused by high nitrate content of well water. Can. J. Camp. Med. 18:93-101

17.Cole, V., C. Cerri, K. Minami, A. Mosier, N. Rosenberg, and D. Sanerback. 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission. pp.745-771. In R.A. Houghton et al (eds.) Climate change. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K. 17. Dendooven, L., E. Bonhomme, R. Merckx, and K. Vlassak. 1998. N dynamics and sources of N_2O production following pig slurry application to a loamy soil. Biol. Fertil. Soils 26:224-228.

18.Ehhalt, D.H. and U. Schmidt. 1978. Sources and sinks of atmospheric methane. PAGEOPH. 116:452-464.

19.Eichner, M.J. 1990. Nitrous oxide emission from fertilized soil: Summary of available data. J. Environ. Qual. 19:272-280.

20.Kimura, M., H. Murakami, and H. Wada. 1991. CO_2, H_2 and CH_4 production in rice rhizosphere. Soil Sci. Plant Nutr. 37:55-60.

21.Lal, R. and B.A. Stewart. 1994. Soil processes and water quality. Lewis Publishers. Ann Arber, Mi. USA. p.5.

22.Mosier, A.R. 1994. Nitrous oxide emission from agicultural soils. Fert. Res. 37:191-120.

23.Mosier, A.R., J.M. Duxbury, J.R. Freney, O. Heinemeyer, and K. Minami. 1996. Nitrous oxide emission from agricultural fields: Assessment, measurement and mitigation. Plant and Soil 181:95-108.

24.OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). 1986. Water Pollution by Fertilizers and Pesticides. OECD Publications. Paris.

25.Prinn, R.D., R. Connold, R. Rasmussen, P. Simmonds, F. Alyea, A. Crawford, P. Fraser, and R. Rosen. 1990. Atmospheric emissions and trends of nitrous oxide deduced from 10 years of ALE-GAGE data. J. Geophys. Res. 95:18369-18385.

26.Sass, R.L., F.M. Fisher, S.T. Lewis, M.F. Jund, and F.T. Turner. 1994. Methane emissions from rice fields: effect of soil properties. Global Biogeochem. Cycle 8:135-140.

27.Trolldenier, G. 1995. Methanogenesis during rice growth as related to the water regime between crop seasons. Biol. Fertil. Soils. 19:84-86.

28.Vitousek, P.M., and P.A. Matson. 1993. Agriculture, the global nitrogen cycle and trace gas flux. pp.193-208. In. R.S. Oremland (ed), Biogeochemistry of global change, Champman and Hall. New York.

29.Wang, W.C., Y.L. Yung, A.A. Lacis, T. Mo, and J.E. Hansen. 1976. Green house effects due to man-made pertubations of trace gases. Science. 194:685-690.

表 1、農田土壤表土 20 公分重金屬最大承載量之評估

重金屬	背景值[a]	管制值[b]	最大可承載濃度[c]	表土 20 公分最大可承載量[d]
	------mg/kg------			----kg/ha----
As	8.9	20	11.1	26.6
Cd	1.8	3	1.2	2.9
Cr	43	200	157	377
Cu	22	150	128	307
Hg	0.2	1.0	0.8	1.9
Ni	42	120	78	187
Pb	40	100	60	144
Zn	190	300	110	264

a：Chen and Lee(1995)　　b：王銀波等人(1994a)
c：最大可承載濃度＝管制值－背景值
d：表土 20 公分最大可承載量 (kg/ha)
=最大可承載濃度(mg/kg)×$(100m)^2$×0.2m×1.2Mg/m^3×$10^3/10^6$
=最大可承載濃度 (mg/kg)×2.4
(資料來源：陳，1995)

表 2、農田土壤中合理堆肥施用總量推估

重金屬	重金屬濃度	最大承載量估值[a]	合理施用量[c]
	----mg/kg--	------tons/ha------	
Cu	100[b]	3000	1500
	200	1500	750
	300	1000	500
Zn	100	2500	1250
	200	1250	625
	500[b]	500	250
Cr	100	3500	1750
	150[b]	2330	1160
	300	1160	580
Ni	25[b]	7200	3600
	50	3600	1800
	150	1200	600

a：肥料重金屬含量規格上限爲 Cu100mg/kg，Zn500mg/kg，Cr150mg/kg 與 Ni25mg/kg。
b：依表 8 計算出之最大承載量(Cu300kg/ha，Zn250kg/ha，Cr350kg/ha 與 Ni180kg/ha)來估算施肥量，並施用於表土 20cm 內。
c：建議合理施用量爲最大施用量之一半，以確保土壤品質。
(資料來源：陳，1995)

農畜產廢棄物之利用與堆肥化

簡宣裕　　鄭智馨

行政院農業委員會農業試驗所農業化學系

一、前　　言

臺灣地理位置處於高溫、雨量充沛之氣候下，土壤有機物質很容易被分解，養分的淋洗非常快速，再加上農民辛勤耕耘的特性，使得農田幾乎隨時都處於耕作狀態，為了維持作物的產量、品質，所以農民只好施用大量的化學肥料、農藥。然而，此種耕作方式相對的使生態、環境受到過量肥料、農藥的污染，使土壤的生物性質產生變化，灌溉水及飲用水受到污染，間接或直接的影響與傷害人類的生活及環境。

又依據農委會資料顯示臺灣地區民國八十三年化學肥料三要素用量分別為 26.3 萬公噸氮、7.4 萬公噸磷酐、10.5 萬公噸氧化鉀，當年所飼養之牛、豬、雞排泄物所含三要素量分別為化學肥料施用量 58 % 、233% 及 110% （表一），禽畜糞尿所含之三要素量除氮外，若施入土壤中可全部取代化學肥料。

國內以往對農畜產廢棄物的處理與利用的方式，第一種方式為直接堆棄於窪地、路旁或排放至河流、小溪，第二種方式為焚燒掉，第三種方式為直接掩埋於土壤中，第四種方式為將部份農畜產廢棄物當做飼料或製成飼料用油，第五種方式為經醱酵過程，穩定化後製成堆肥或當栽培介質使用。第一種與第二種方式，以環保的觀點而言是不允許的，第三種方式雖然有較省工、節省時間及能源的優點，但相對的有環境衛生、臭味、污染水源二次公害的問題，且直接施入土壤會造成作物根部缺氧、溫度及還原性太高、釋出有毒的物

質，影響作物生長，及使病害、蟲害發生的機率增加，第四種方式雖然沒有環保上的問題，但是不普遍，且非每種農畜產廢棄物的處理皆可採用，第五種方式將農畜產廢棄物經醱酵過程製成堆肥或栽培介質，是較合乎衛生安全、環境保護及經濟效益的做法。

表一、臺灣地區環境中由化學肥料使用及禽畜糞尿而來三要素投入量概估

來源	N	P_2O_5	K_2O
	----------------	萬噸 / 年	-----------
化學肥料	26.29	7.37	10.53
(指標)	(100)	(100)	(100)
豬	7.36	4.64	2.77
雞	6.74	11.80	7.24
牛	1.10	0.75	1.56
禽畜糞尿總量	15.20	17.19	11.57
(指標)	(58)	(233)	(110)
化學肥料量 + 禽畜糞尿量	41.49	24.56	22.10

二、本省禽畜糞及主要農產廢棄物量

依據八十三年臺灣農業年報，本省飼養乳牛 117,043 頭，肉牛 32,069 頭，豬 9,844,920 頭，蛋雞 27,740,000 隻，肉雞 63,613,000 隻，乳羊 72,003 頭，估算一年禽畜糞總產量為 12,773,800 公噸如表二。又年主要農產廢棄物量，稻殼 370,700 公噸，甘蔗渣有 1,520,000 公噸，廢棄菇類木屑 119,250 公噸，

合計約有 2,009,950 公噸（表三）。故主要農產廢棄物和禽畜糞量，年約有 14,783,750 公噸，若以 35% 可製成堆肥，估計年生產量約 5,174,313 公噸，爲國家寶貴資源。故爲了生態系統、環境的維護及保育，如何加強利用此些農、畜產廢棄物來製造堆肥或有機質肥料，以回歸施用於農田，增進土壤生產力，是值得給與重視和鼓勵。

表二、臺灣禽畜糞年產量

禽畜	頭數	日排糞量 (公斤 / 頭)	年排糞量 (噸 / 頭)	年總排糞量 (噸 / 年)
乳牛	117,043	30	10.9	1,275,700
肉牛	32,069	15	5.5	176,300
豬	9,884,920	1.9	0.7	6,891,400
蛋雞	27,740,000	0.14	0.051	1,414,700
肉雞	63,613,000	0.13	0.047	2,989,800
羊	72,003	1.0	0.36	25,900
總量				12,773,800

表三、本省主要農產廢棄物年生成量及利用情形

種類	產生量	用於製造堆肥	當作燃料	未處理量
	-------	噸 / 年	-------	
稻殼	370,700	31,490	少量	339,210
蔗渣	1,520,000	少量	1,220,000	300,000
廢棄菇類木屑	119,250	25,786	少量	93,464
總量	2,009,950	57,276	1,220,000	732,674

三、有機質肥料與堆肥的製造

(一) 伯卡西肥

1. 材料

米糠200公斤，菜子粕200公斤，魚粉100公斤，骨粉100公斤。

2. 微生物

配製綜合性有益微生物及黑糖或糖蜜各500倍混合液180公升。

3. 製造方法

稱取黑糖360公克倒入塑膠桶內，加清水180公升，然後倒入綜合性有益微生物360 cc 混合均勻，使其成為黑糖微生物水。將米糠、菜子粕、魚粉及骨粉混合均勻後，慢慢將黑糖微生物水倒入，直到濕潤程度，即以手握之可成塊，但鬆開手指稍加振動即刻散開，然後將混合好的材料平舖在水泥地面上，厚約15 ㎝。上面蓋以麻袋，每天翻堆1次，使其溫度保持在45℃以下(以手插入不覺得燙手的程度)，約一星期左右，微生物充分繁殖後即可攤開讓其乾燥後裝袋以供使用，約可保存半年，如用塑膠布緊密封蓋不使其透氣時溫度就不會上升太高，就可不必翻堆，約經過4-5天即可掀開，將其攤開弄鬆後舖成薄層讓其乾燥後裝袋以供使用。

(二)有機液肥

1. 氮質液肥

(1) 材料

清水100公升，豆粉6公斤，米糠6公斤，磷礦粉1公斤，海草粉2公斤，動物性胺基酸1公升，蛋6粒，黑糖12公斤，綜合性有益微生物2公升。

(2) 製造方法

準備120公升塑膠桶一個，將清水及全部材料倒入桶中後每天早晚各攪拌一次，每次約3至5分鐘，連續約14天，約經過30天左右即可使用。豆粉可改用菜子粕與花生粕等其他油粕類。

2.磷質液肥

(1) 材料

清水 100 公升，米糠 3 公斤，煉乳 1 公斤，磷礦粉 6 公斤，海草粉 2 公斤，蛋 3 粒，黑糖 10 公斤，綜合性有益微生物 2 公斤。

（2）製造方法

準備 120 公升塑膠桶一個，將清水及其他全部材料倒入桶中，每天早晚各攪拌一次，約經過 15 至 30 天後即可使用。

3.低氮磷質液肥

（1）材料

清水 100 公升，米糠 6 公斤，煉乳 1 公斤，磷礦粉或海鳥糞 3 公斤，海草粉 2 公斤，蛋 3 粒，黑糖 10 公斤，綜合性有益微生物 2 公斤。

（2）製造方法與氮質液肥相同。

(三)堆肥

1.堆肥須經堆積腐熟穩定化之原因

（1）降低碳氮比或避免氮素損失

堆肥材料通常碳與氮比大時，若直接施用於土壤中，於施用後初期造成土壤中可供作物吸收利用之有效性氮素、磷素、鉀素減少，尤其以有效性氮的減少最受影響，對作物生長不利，故需要堆積腐熟。堆肥材料經堆積後，有機物開始分解，碳氮比逐漸降低至碳氮比穩定後便達到腐熟，堆肥材料之碳氮比之所以能降低，大部份是因為微生物自堆肥材料中吸取養分，做為繁殖、能源用，微生物吸取碳、氮數量之比，於微生物繁殖時是 10 比 1，於微生物活動時為 20 比 1，因此堆肥材料中之碳逐漸被分解、吸收而消化掉，因此碳氮比逐漸降低。碳與氮比低時，若直接施用則可能造成作物受氨氣的毒害，且直接進行堆肥化時，則氮素會以氨氣 $NH_{3(g)}$ 型式散發損失掉。

（2）改善物理性

堆肥材料之莖桿、殘葉、稻草、樹皮等粗大有機物，大多堅硬強韌，物理性不好，經堆積分解腐熟後變成脆細、柔軟，

利於撒佈及與土壤混合均勻。

(3) 減少有害成份

有機物分解時會產生硫化氫、甲烷、氫氣、酚、有機酸等物質對作物有害，若堆肥材料經過堆積分解，可減少有害成份。

(4) 消滅病菌、蟲卵及雜草種子

很多病菌、蟲卵附著於殼實、莖桿等堆積材料上。堆肥製造期間溫度最高可達到 60℃至 80℃，大部分病菌、蟲卵、雜草種子在此種溫度下可被殺滅。

(5) 避免直接施用於土壤時產生高溫缺氧，影響作物之生長

家畜、家禽糞雖然碳氮比低但含有大量易被微生物利用之醣類時，此些醣類經微生物分解、醣解作用(glycolysis) 產生丙酮酸、丙酮酸乙醯化生成乙醯輔酵素 A (acetyl-CoA)而進入檸檬酸循環(tricarboxylic acid cycle)生成 $NADH_2$ 及 FADH，$NADH_2$ 及 FADH 進入電子傳遞系統(electron transport system)產生 ATP。微生物活動、繁殖時 ATP 變成 ADP、Pi 及能量，所釋出能量供微生物進行代謝作用及促使周圍環境缺氧而且溫度上升，而影響到作物的正常正長。

2. 堆肥醱酵最佳條件

(1) 足夠的氧氣

堆肥醱酵中分解有機物的微生物係屬於好氣性微生物，所以氧氣的供給是非常重要。供給氧氣的方法如機械翻堆、送風機送風等，氧氣不足時由於厭氧性微生物增殖，不但分解困難且產生硫化氫、低級脂肪酸、低級醛等臭氣。但送風量過大或攪拌過度，醱酵熱及水分消失快，溫度急速下降。瑞穗尙等人報告適當的送風量是每噸每公鐘 200 公升。

(2) 適當的水分

水分是微生物增殖必要的條件，如果水分含量低於 30% 以下，微生物的增殖即被抑制。相反的如果水分含量高於 70% 以上，則空隙率低，空氣不足，嚴重時反而成爲厭氣醱酵

狀況，堆肥醱酵速度變得很慢。堆肥醱酵最適當的含水率是60至65%，水分調整的方法常用的有四種爲添加稻殼或木屑等有機纖維物、機械脫水、塑膠乾燥房乾燥、添加已醱酵堆肥。

(3) 調整碳氮比例

堆肥醱酵時有機物由微生物分解，而微生增殖、活動的能源是來自營養分中的碳化合物，形成細胞時最適當的碳氮比例是20：1。家畜種類的不同，糞中所含的碳氮比值不一，牛糞爲20至23，豬糞爲10至15，所以堆肥化處理時牛糞可不必另外調整其碳氮比值，而豬、雞糞應適當調整，而調整材料以稻殼、木屑居多。

(4) 酸鹼值

分解堆肥的微生物喜好微鹼性，即pH7.0至8.0，一般禽畜糞製作堆肥不必調整pH，但貯存時間久而pH降低時可用石灰調整。

(5) 適合的堆積高度

堆肥材料堆積高度的不同，則單位容積內的重量有差別，一般而言堆積高度愈高，容積重愈大，孔隙率減少，氧氣之供給困難，在送風式堆肥製作時，仍以不超過1.5公尺爲宜。

3.堆肥製造步驟

收集堆積材料
↓
適當地切斷，依堆肥的用途切成適當長度
↓
材料調整水分至65%至55%
↓
調整酸鹼度
↓
進行堆肥化過程

4. 進行堆肥化過程之方式

臺灣農產廢棄物進行堆肥化過程的主要方式，可以歸納為七種，農民或業者可依禽畜糞及農產廢棄物的種類、處理量、投資額等條件參考採用。一般堆積方式若設備投資較少，則處理期間較長約 2 至 3 月。而機械攪拌方式，設備投資及維持費較多，但堆肥化所需要的時間較短，約 2 至 3 週。各種進行堆肥化之方式為裝袋堆積式、箱型送風式、堆肥舍堆積方式、送風設施配合堆肥舍式堆積方式、橫軸迴轉攪拌方式：橢圓型醱酵槽式或條溝型醱酵槽式、杓子式攪拌方式：套裝杓子堆肥自動翻堆機配合 U 型鋼板式醱酵槽及不設發酵槽而以天車懸臂杓子翻堆機翻堆、密閉圓筒式發酵槽：直立圓筒醱酵槽式與橫式圓筒醱酵槽式。

四、製造堆肥時材料碳氮比值以及水分調整之估算

農產廢棄物用來製造堆肥時，要注意的兩個重要因子是碳氮比值與水分含量。碳與氮比值大之有機質村料用來製作堆肥時，微生物雖然有足夠之碳化合物當做活動時能源，但是氮含量比例少，而使碳氮比值下降速度緩慢，堆肥發酵腐熟所需要的時間長，往往須要 3 或 4 個月甚至半年或一年以上的時間。缺碳氮比值小的有機質材料因為含氮比例量高，在堆肥醱酵過程中可能會有大量氨揮發，造成氮素損失。故要加速有機物質之發酵腐熟速度，以及減少在堆肥製作過程中氮肥的損失，事先調整製作堆肥材料的碳氮比值以及水分含量是須要的步驟。依據前之研究經驗將製作堆肥材料之碳氮比值調整為 30 天較有利於發酵，因為在此種碳氮比值情況下，可以用來製作快速堆肥且避免製作過程中氮素的損失。製造堆肥時，雖然其他發酵條件完備，但是不能保有適當的

水分條件，則發酵腐熟速度會緩慢，亦不能得到優良的堆肥。

調整堆積材料爲適當之碳氮比值以及水分含量的估算，首先須要對農畜產廢棄物的成分加以了解，表四爲幾種材料之化學成分，可以供給各位讀者參考，不過最好先還是將自己想要製作堆肥之有機質材料經由專業人員化驗分析，然後依據有機物質中各成分之含量，參考下列方法計算即可。

表四、幾種製造堆肥有機質材料之 水分含量、碳及氮含量

	碳	氮	水分	碳氮比值
		%		
豬糞	43	3.0	72	14.3
雞糞	34	4.2	56	8.1
牛糞	51	2.7	84	18.8
稻草	53	0.7	14	76.0
稻殼	53	0.6	12	88.3
廢棄太空包木屑	45	0.7	67	64.3
闊葉樹樹葉	55	1.2	15	45.8

(一)調整堆積材料的碳與氮比值爲 30

若以雞糞及稻草當做材料，混合發酵製作堆肥爲例。由表四可以知道雞糞含氮 0.7 %、碳 34 %、碳與氮之比值爲 8.1 、水分含量爲 56 %，稻草含氮 0.7 %、碳 53 %、碳與氮之比爲 76 、水分含量爲 14 %。設堆積材料總乾重爲 100 公斤，雞糞佔 X 公斤則稻佔 100－X 公斤，混合後之碳氮比值調爲 30，水分含量爲 65 %。依照下列式子加以計算：

因爲

$$\frac{\text{堆積材料含碳量}}{\text{堆積材料含氮量}} = \frac{(X)(34) + (100-X)(53)}{(X)(4.2) + (100-X)(0.7)} = \frac{30}{1}$$

(X)(34) --- 來自雞糞碳重量。
(100-X)(53) --- 來自稻草之碳重量。
(X)(34) + (100 - X)(53) --- 堆積材料含碳重量。
(X)(4.2) + (100 - X)(0.7) --- 堆積材料含氮重量。

所以
(30)(X)(4.2) +(100 - X)(0.7)(30)＝(X)(34) + (100 - X)(53)
126X + 2100 - 21X ＝ 34X + 5300 - 53X
126X - 21X - 34X + 53X ＝ 5300 - 2100
124X ＝ 3200 ， X ＝ 25.81 公斤 --- 乾雞糞重量。
100 公斤 - 25.81 公斤 ＝ 74.19 公斤 - 乾稻草重量。

$$\frac{25.81 \text{ 公斤}}{0.44} = 58.66 \text{ 公斤 --- 含水分雞糞重量}$$

$$\frac{72.40 \text{ 公斤}}{0.89} = 84.19 \text{ 公斤 --- 含水分稻草重量}$$

故將 58.66 公斤含水分雞糞和 84.19 公斤含水分稻草相互混合後，便能使堆積有機質材料的碳氮比值調整爲 30。

（二）調堆積材料的水分含量爲 65 %

因爲
(58.66)(0.56) ＝32.85 公斤-- 來自雞糞之水分量
(84.19)(0.14) ＝11.79 公斤-- 來自稻草之水分重量

且設需要添加的水量爲公斤，則

$$\frac{\text{來自雞糞水量} + \text{來自稻草水量} + \text{添加水量}}{\text{雞糞量} + \text{稻草量} + \text{需要添加水量}} = 0.65$$

$$\frac{32.85 + 11.79 + Y}{58.66 + 84.19 + Y} = 0.65$$

$$\frac{44.64 + Y}{142.85 + Y} = 0.65$$

$$(0.65)(142.85 + Y) = 44.64 + Y$$

$$92.85 + 0.65Y = 44.64 + Y$$

$$Y - 0.65Y = 92.85 - 44.64$$

$$0.35Y = 48.21$$

Y = 137.74 公斤 --- 需要添加水重量

故將 58.66 公斤雞糞和 84.19 公斤稻草相混合，然後再添加 137.74 公斤水，就可以讓製作堆肥材料的碳氮比值爲 30 ，而且水分含量爲 65 %。上述例子是調整製作堆肥材料之水分及碳氮比值爲 65 % 和 30，若是讀是或農民想將不同製作堆肥有機質材料調整至自己所希望之水分含量、碳氮比值，則可參考以上作者所寫的方程式，計算出各種材料應該的混合和重量以及須要添加之水分重量。

有機資材及有機質肥料之成分分析

李艷琪、張愛華

行政院農業委員會農業試驗所農業化學系

一、前　言

台灣地區之土壤有機質含量一向偏低，約有 45%左右之土壤，其有機質含量低於 2.0%，而土壤有機質不僅可改良土壤物理、化學及生物性質，有利於作物耕作管理，更可作為作物營養要素之儲藏庫以及土壤肥力之指標，故適時適地適當地施用有機材質或有機質肥料，對於土壤有機質的增加、土壤性質的改良、土壤氮素礦化作用的增加與土壤生產力的維持，均可以有相當正面的影響。近年來由於農畜廢棄物之大量產出，對於環境保護實為一大考驗，為促使此等農畜產廢棄物能回歸土壤，有機資材及有機質肥料之使用乃大為提倡，但因其種類繁多，成分複雜，比例互異，且重金屬含量常有過多之虞，故有機資材及有機質肥料之「成分分析」，即顯得相當重要且極受重視[1]。

二、有機資材與有機質肥料之類別

有機資材與有機質肥料之種類極為多樣，在品質上有極大差異，其內含物材質亦多所不同，主要包括作物殘體、綠肥作物、糞材、農產加工副產肥料、菇類栽培介質、堆肥及其他有機資材等[2]，其類別如表一所示。由於有機資材與有機質肥料之用量頗大，且為增進農田地利，常需長期施用，故施用之有機肥料中，有機質和氮、磷、鉀等營養要素之含量，對於土壤肥力均極為重要，有進一步進行調查、分析及瞭解之必要[3]。而各有機資材與有機質肥料之成分分析，除了可以作為肥料分類之依據外，更可提供後續追蹤及考察之參考，對於規範有機肥料之品質亦有正面之意義[4]。

表一、有機資材與有機質肥料之類別

類　別	項　目	表次
1.作物殘體	稻草、穀殼、米糠、花生殼等	表二
2.綠肥作物	田菁、太陽麻、油菜等	表三
3.糞材	牛糞、羊糞、豬糞、雞糞等	表四
4.農產加工副產肥料	油粕類、酒廠廢渣、蔗渣等	表五
5.菇類栽培介質	木屑、菇類栽培介質等	表六
6.堆肥		表七
(1)菇類栽培介質堆肥	木屑、雞糞等	
(2)雞糞堆肥	雞糞、木屑、穀殼等	
(3)豬糞堆肥	豬糞、木屑、粗糠等	
(4)牛糞堆肥	牛糞、穀殼等	
(5)蔗渣堆肥	蔗渣、濾泥、酒精廢醪等	
(6)其他堆肥	污泥堆肥、垃圾堆肥等	
7.其他有機資材	污泥、廚餘液、有機營養劑等	表八

三、分析方法

有機資材與有機質肥料之成分分析，由於各研究機關、試驗場所及學校單位之分析方法均略有差異，其結果自應有所差別，故以下即詳列各研究分析單位對不同分析項目之分析方法，以作爲參考及比對之用。由於有機質肥料之成分常因堆積資材及堆積比例之不同而有所差異，故對於有機質肥料之成分分析，均應於表中詳列其堆積基質種類與調配比例，以便作爲相互比較及參考之依據。

(一)農業試驗所

農業化學系化學分析研究室採用分析方法如下[(1)]：

1.有機質：樣品經風乾磨碎後，以高溫爐燃燒灰化法分析。

2.碳、氮：元素分析儀測定。

3.磷、鉀、鈣、鎂：將灰化後之樣品，加入濃硝酸於水浴下進行消化，蒸發至快乾涸時，再加入(1+5)鹽酸溶解，稀釋過濾後以離子感應耦合電漿光譜儀(ICP)測定各元素含量。

農業化學系土壤微生物研究室採用方法如下[(5)]：

1.碳：樣品經 70°C 烘箱烘乾後，以 Walkley-Black 法測定碳含量。

2.氮：以濃硫酸及過氧化氫將樣品消化後，以擴散法測定氮含量。

3.磷、鉀、鈣、鎂：將樣品以雙酸進行消化分解，經收集濾液後，利用鉬黃法

測定磷含量，利用火燄分光光度計測定鉀含量，而以離子感應耦合電漿光譜儀(ICP) 測定鈣、鎂含量。

(二)台中區農業改良場

1.碳：樣品經 70°C 烘箱烘乾後，以 Walkley-Black 法測定。

2.氮、磷、鉀、鈣、鎂：以 AR 級濃硫酸及過氧化氫將樣品消化後，利用擴散法[6] 和蒸餾法[7] 測定氮含量；以鉬黃法測定磷含量；火燄光度計測定鉀及鈉含量；原子吸收光譜儀測定鈣及鎂含量。

(三)花蓮區農業改良場

1.有機質：以 Nelson-Sommers 法測定。

2.氮、磷、鉀、鈣、鎂：以濃硫酸及過氧化氫將樣品進行消化，然後利用擴散法測定氮含量；利用鉬藍法測定磷含量；而以離子感應耦合電漿光譜儀(ICP) 測定鉀、鈣、鎂含量。

(四)台灣糖業研究所

1.有機質：樣品經烘乾磨碎後，以高溫爐燃燒灰化法分析。

2.氮：樣品經硫酸分解後，以蒸餾滴定法測定。

3.磷、鉀、鈣、鎂：樣品經硝酸分解後，加過氯酸去色，分解液以鉬黃比色法測定磷含量；以燄光光度計測定鉀含量；以滴定法測定鈣、鎂含量。

(五)中興大學土壤環境科學系

1.有機質：樣品經 70°C 烘箱烘乾後，以 Walkley-Black 法測定。

2.氮、磷、鉀、鈣、鎂：以 AR 級濃硫酸及過氧化氫將樣品消化後，利用擴散法[6] 和蒸餾法[7] 測定氮含量；以鉬黃法測定磷含量；火燄光度計測定鉀及鈉含量；原子吸收光譜儀測定鈣及鎂含量。

(六)嘉義農專

1.有機質、全氮及全磷：依照 AOAC 之方法進行之。

2.鉀、鈣、鎂：稱取磨粉後之風乾樣品，置入高溫爐燃燒灰化後，加入 6N HCl 加熱溶解，稀釋定量後，以原子吸收光譜儀測定各元素含量。

四、成分分析

如前所述，有機資材與有機質肥料之類別，可將其分為作物殘體等七大類，

而農產加工副產肥料及堆肥亦可再細分成許多小類，針對不同類別之有機堆肥進行成分分析，其分析結果如表二至表八所示，主要以分析有機質、碳、氮、磷酐、氧化鉀、氧化鈣、氧化鎂及碳/氮比值等項目爲主。不同材質製成之不同類別有機肥料，其成分含量均有相當大之差異及變異，故需依照施用之需求選擇適合栽種不同作物之有機肥料。

由於有機肥料中之氮通常都需要經過土壤中之微生物分解及礦化過程，才能釋出無機態氮供作物吸收利用，而有機質肥料中氮素之礦化速率，亦因其製造過程中所使用之有機資材種類，而有一般性的原則可循，故有機質肥料所使用之有機資材種類及用量比例宜加以標示，以利參考。而有機質肥料中如摻有化肥態氮素，其含量亦應測定並予以標示，施用者才能評估其肥效，計算其施用量，才不致於發生施肥過多的問題[1]。

表二、作物殘體成分含量（乾基）

樣品	碳/氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
稻草	78~88		54~56	0.64~0.69	0.05~0.11	2.0~2.1	0.42~1.2	0.3~0.52	謝[8]
稻殼	104~106		50~52	0.48~0.49	0.11~0.18	0.87~1.3	0.21~0.32	0.15~0.4	謝[8]
稻殼				0.48	0.23	0.54	0.15		廖[9]
稻殼		79		0.36	0.35	0.47	0.34	0.09	倪[10]
稻殼	70	87	39	0.50	0.46	0.98			林[11]
稻殼		55		1.41	2.18	0.64			陳[12]
稻殼	60~85	63~87	40~42	0.47~0.70	0.07~0.12	0.28~0.6	0.01~0.31	0.05~0.07	李[13]*
米糠	22		50	2.24	4.47	2.16	0.18	1.78	謝[8]
米糠		91		2.04	3.60	1.43	0.35	1.11	倪[10]
米糠				3.37	2.45	2.45	0.34	0.75	廖[9]
玉米桿	68		55	0.81	0.37	1.61	0.35	0.48	謝[8]
高粱桿	73		53	0.73	0.25	1.94	0.60	0.62	謝[8]
薏仁殼	40		51	1.28	0.14	1.63	0.18	0.15	謝[8]
大豆桿	30		52	1.76	0.37	1.31	1.97	1.15	謝[8]
花生桿	28		49	1.73	0.37	1.27	1.96	0.77	謝[8]
花生殼	33		53	1.60	0.34	1.29	0.66	0.33	謝[8]
菸葉	20		44	2.16	0.76	4.23	5.19	1.27	謝[8]
菸葉渣	13	80	38	2.95	0.85	6.53	4.05	0.98	李[13]*
菸莖	14	40	23	1.68	1.05	5.59	3.05	0.83	李[13]*
菸土	25		43	1.75	0.89	5.05	3.04	1.25	謝[8]
褐海藻	26	84	34	1.32	0.11	1.35	4.35	1.63	李[13]*
茶葉				4.06	0.37	1.23	0.56	0.27	廖[9]
海藻	35	56	27	0.76	0.16	10.3	2.74	1.50	李[13]*
椰子殼粉	37	96	53	1.43	0.18	0.50	0.36	0.20	李[13]*

#：資料來源括弧內數字爲參考文獻序號
*：成分含量以風乾重計算

表三、綠肥作物成分含量（乾基）

樣品	碳/氮比	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
		----------	----------	----%	----------	----------	----------	
田菁	23.5	56	2.38	0.62	2.83	1.61	0.32	謝[8]
田菁				0.28	0.51			廖[9]*
田菁(n=4)		38~44	1.3~4.0	0.54~1.0	0.85~1.7			焦等[14]
太陽麻	30.2	53.7	1.78	0.46	2.28	1.40	0.50	謝[8]
太陽麻				0.18	0.17			廖[9]*
埃及三葉草	18.8	46.3	2.46	0.78	3.00	1.83	0.63	謝[8]
埃及三葉草				0.21	0.51			廖[9]*
油菜	22.6	42.7	1.89	0.94	3.49	2.23	0.78	謝[8]
油菜				0.05	0.34			廖[9]*
油菜(n=2)		38~39	2.3~2.7	0.71~0.72	2.1~3.6			焦等[14]
黑麥草(n=2)		36.5	1.7~1.8	0.37~0.44	3.4~4.1			焦等[14]
苕子	12.4	46.0	3.70	0.80	3.84	1.15	0.68	謝[8]
苕子(n=2)			2.4~3.5	0.54~0.92	3.8~4.8			焦等[14]
紫雲英				0.18	0.29			廖[9]*
紫雲英(n=4)		41	1.8~2.8	0.38~1.5	1.3~2.7			焦等[14]

#：資料來源括弧內數字爲參考文獻序號

*：成分含量以風乾重計算

表四、糞材之成分含量(乾基)

樣品	碳/氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
		%							
牛糞	19~28		25~40	0.89~2.1	0.55~2.1	1.6~3.5	0.20~2.0	0.83~2.1	謝[8]
牛糞		34		2.35	0.87	0.74	1.45	0.60	倪[10]
牛糞	15	68	31	2.10	4.81	3.49			林[11]
牛糞(新鮮)				0.43	0.38	0.29			嚴[15]
牛尿(新鮮)				0.47	0.14	1.32			嚴[15]
羊糞	16	81	36	2.30	5.27	2.89			林[11]
土羊糞	18~21		39~47	1.8~2.3	1.5~1.7	1.9~2.2	1.3~5.4	0.7~1.4	謝[8]
乳羊糞	21~23		37~48	1.6~2.4	2.5~2.6	3.2~4.0	2.6~3.9	0.85~0.88	謝[8]
兔糞	14	90	40	3.00	5.73	1.69			林[11]
豬糞	17~31		4~54	1.6~2.9	1.0~7.1	0.16~1.9	0.8~9.0	0.15~1.7	謝[8]
豬糞		77		2.91	3.05	1.21			廖[9]
豬糞				4.78	1.31	0.47	1.46	0.32	廖[9]
豬糞	14	78	35	2.5	11.7	1.93			林[11]
豬糞(新鮮)		15		0.60	0.92	0.53			廖[9]
豬糞(新鮮)				0.63	0.92	0.28			嚴[15]
豬尿(新鮮)		2.3		0.30	0.27	1.21			廖[9]
豬尿(新鮮)				0.48	0.07	0.16			嚴[15]
蛋雞糞	9~14		27~32	2.1~2.9	4.4~6.8	0.77~3.8	0.73~7.5	0.3~1.8	謝[8]
蛋雞糞		19~40		0.6~1.9	1.4~4.1	1.0~2.1	4.7~8.2	0.3~1.5	盧[16]*
肉雞糞	11~28		25~47	1.8~2.5	2.8~6.6	2.7~3.6	2.6~21	0.7~1.5	謝[8]
肉雞糞		44		1.99	2.11	1.41	1.57	0.50	盧[16]*
雞糞	9		25	2.81	4.24	3.01	·7.14	2.02	蔡等[18]
雞糞		68		2.82	3.05	1.69			廖[9]
雞糞		42		2.94	6.98	3.08	12.6	1.29	倪[10]
雞糞	8	68	31	4.1	18.1	4.22			林[11]
雞糞(新鮮)		26		1.63	3.53	1.02			廖[9]
雞糞(新鮮)				1.66	2.92	1.79			嚴[15]
海鳥糞(淡黃)				0	24~28	0.05~0.1	9.5~19	0.27~3.2	謝[8]
鳥糞				4.03	5.15	2.43	11.3	0.87	李[13]*

#：資料來源括弧內數字爲參考文獻序號

*：成分含量以風乾重計算

表五、農產加工副產肥料成分含量

1. 工廠廢渣成分含量（乾基）

樣品	碳/氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
		%							
葡萄梗	20~36		37~46	1.3~1.9	0.46~0.64	2.5~2.7	1.1~1.6	0.1~0.3	謝[8]
葡萄果柄	17	82	42	2.41	0.66	0.93	1.12	0.38	李[13]*
葡萄子	21~35		40~51	1.4~1.9	0.3~0.6	0.8~1.4	0.8~1.0	0.23~0.25	謝[8]
茶渣	14		51	3.64	0.44	0.65	0.46	0.37	謝[8]
茶渣	18	96	46	2.52	0.50	0.49	0.61	0.25	李[13]*
麥麩	15		48	3.19	0.34	0.17	0.03	0.15	謝[8]
啤酒渣	10		49	4.82	1.31	0.07	0.27	0.45	謝[8]
啤酒麴	8		42	5.23	2.02	1.54	0.08	0.25	謝[8]
蔗渣		73	33	1.08	0.21	0.57			黃等[20]
蔗渣	204		53	0.26	0.07	0.23	0.41	0.12	謝[8]
蔗渣			41	0.39	0.21	0.30			林[11]
亞麻渣	123	95	54	0.44	0.28	0.43	0.89	0.21	李[13]*

2. 油粕類成分含量（乾基）

樣品	碳/氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
		%							
花生粕				6.3	2.75	1.57			廖[9]*
花生粕	8		51	6.54	1.28	1.86	0.97	0.82	謝[8]
花生粕	5~11	90~94	26~47	4.4~7.5	0.7~1.5	0.9~1.8	0.24~0.66	0.47~0.63	李[13]*
芝麻粕				5.80	7.33	1.81			廖[9]*
芝麻粕	10		55	5.74	2.24	1.34	5.63	1.10	謝[8]
胡麻粕				5.00	4.58	2.29			廖[9]*
大豆粕				8.46	1.60	3.39	0.52	0.65	廖[9]
大豆粕		67		8.32	1.74	2.50	0.53	0.50	倪[10]
大豆粕	4~7	84~95	27~43	4.4~6.2	1.2~2.7	2.0~4.2	0.27~2.9	0.35~0.48	李[13]*
大豆粉	7		51	7.20	1.28	2.81	0.90	0.68	謝[8]
壓扁黃豆		88		6.93	3.34	5.85			陳[12]
魯冰粕	10		56	5.81	0.55	1.00	0.41	0.30	謝[8]
棉子粕	11		54	4.97	1.31	1.55	0.87	0.77	謝[8]
棉子粕	6~9	92~93	26~50	3.9~5.8	1.8~2.7	1.1~1.5	0.55~1.4	0.77~0.87	李[13]*
蓖麻粕	8		45	5.79	1.97	1.45	2.18	0.95	謝[8]
蓖麻粕	10	92	46	4.69	1.81	1.00	0.83	0.88	李[13]*
菜子粕				3.40	5.73	1.69			廖[9]*
菜子粕	9		48	5.46	2.27	1.51	1.37	0.93	謝[8]
菜子粕		92~94		5.9~6.3	0.96~2.7	1.0~1.4	0.42~1.2	0.58~0.73	李[13]*
向日葵粕				5.20	3.89	1.69			廖[9]*
椰子粕	3		10	3.40	2.27	2.16	2.27	0.47	謝[8]
桐子粕	15		49	3.20	1.37	1.08	0.73	0.48	謝[8]
桐油仔餅				2.07	0.60	0.66	0.47	0.00	李[13]*
葡萄粕	26	96	52	2.01	0.60	0.88	0.52	0.18	李[13]*
苦楝粕	27		48	1.75	0.44	2.29	1.54	0.67	謝[8]
苦茶渣粕		96~97		1.0~1.7	0.25~0.48	0.88~1.4	0.01	0.18~0.21	李[13]*
茶子粕	41		51	1.23	0.30	1.21	0.21	0.23	謝[8]

#：資料來源括弧內數字爲參考文獻序號

*：成分含量以風乾重計算

(續表五)

3. 動物殘渣成分含量(乾基)

樣品	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
	%							
血粉			13.40	0.23	0.24	0.10	0.03	謝[8]
雞毛			13.00	0.32	0.05	0.38	0.07	謝[8]
鵝毛			13.62	0.27	0.07	0.31	0.05	謝[8]
鴨毛			13.58	0.32	0.08	0.35	0.07	謝[8]
羽毛	88		8.85	0.46	0.11	0.66	0.28	李[13]*
蟹殼粉			2.73	3.98	0.47	7.49	1.73	謝[8]
蟹殼粉	45	33	4.29	3.44	0.57	29.2	1.33	李[13]*
蝦殼(新鮮)		29	4.60	1.90	0.76			蔡[21]
蝦殼(醱酵後)			1.42	1.83	0.65			蔡[21]
蝸牛粉			3.90	3.39	0.54	20.3	1.47	謝[8]
皮革粉			4.50	0.11	0.02	0.56	0.18	謝[8]
皮革粉	86	38	9.03	0.02	0.02	0.14	0.02	李[13]*
牛角粉	74	35	10.9	8.50	0.10	13.0	0.25	李[13]*
牛皮粉	87	39	7.14	1.03	0.53	1.08	0.47	李[13]*
動物內臟	60	26	3.77	6.44	3.96	6.38	1.33	李[13]*
雞蛋清			2.22	0.09	0.17	0.04	0.03	謝[8]
雞蛋黃			3.37	1.19	0.12	0.22	0.03	謝[8]
雞蛋殼			1.28	0.27	0.11	15.2	0.43	謝[8]
蚵殼粉			0.20	0.14	0.02	28.8	0.75	謝[8]
魚骨粉			7.82	6.82	0.95	7.71	0.47	謝[8]
魚粕		45	7.80	1.97	1.00			蔡[21]
魚粕(醱酵後)			2.82	2.08	0.96			蔡[21]
魚粉	40		4.76	4.31	0.17	0.54	6.87	李[13]*
肉骨粉			8.66	6.50	0.71	11.1	0.50	謝[8]
肉骨粉	70~83	30~36	3.3~8.5	2.2~10.2	0.72~0.92	1.5~8.1	0.32~0.47	李[13]*
骨粉			8.35	2.63	0.47	7.03	0.30	廖[9]

#:資料來源括弧內數字為參考文獻序號

*:成分含量以風乾重計算

表六．廢棄菇類栽培介質成分含量（乾基）

樣品	碳/氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
		--------	--------	--------	---%---	--------	--------	--------	
廢棄洋菇栽培介質	44		39	0.88	0.53	0.20	4.09	0.67	謝[8]
廢棄香菇栽培介質	102		57	0.56	0.89	0.10	3.77	0.47	謝[8]
廢棄香菇栽培介質	42		44	1.05	2.04	0.69	2.27	0.93	蔡[7]
廢棄香菇栽培介質	27	75	37	1.35	1.06	0.44	5.78	0.61	李[13]
廢棄木耳栽培介質	75		56	0.57	0.69	0.08	4.96	0.42	謝[8]
廢棄金針菇栽培介質	42		58	1.37	2.06	1.21	0.87	0.93	謝[8]
廢棄金針菇栽培介質		58		1.48	3.07	0.45			陳[12]
廢棄金針菇栽培介質				1.35	0.76	0.57	0.49	0.37	廖[9]
廢棄金針菇栽培介質		78~90		0.94~3.5	0.78~4.4	0.48~1.2	0.8~3.3	0.48~1.9	李[13]*
廢棄菇類木屑	57	71	40	0.70	0.30	0.72			林[11]
純木屑			1.12	0.37	0.37	0.29			林[11]
樹皮	25~52		50~56	1.08~2.03	0.11~0.34	0.64~0.72	0.73~2.4	0.35~0.42	謝[8]
樹皮(木屑)	298	99	45	0.15	0.05	0.31			林[11]

#：資料來源括弧內數字爲參考文獻序號

*：成分含量以風乾重計算

表七、堆肥成分含量

1.廢棄菇類栽培介質堆肥成分含量(乾基)

堆積資材	比例 (w/w)	碳氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料# 來源
			-----------	-----------	--%	-----------	-----------	-----------	-----------	
香菇木屑:雞糞	8:4	11	48	28	2.46	4.33	2.26	9.63	0.17	簡和莊[5]
香菇木屑:雞糞	16:4	12	48	28	2.37	4.19	2.23	9.12	0.16	簡和莊[5]
香菇木屑:雞糞	32:4	14	53	31	2.25	3.99	2.18	8.70	0.15	簡和莊[5]
木屑:穀殼:牛糞:米糠:豆粕	8:8:2:1:1				1.71	1.09	0.57	0.40	0.34	廖[9]
木屑:穀殼:牛糞:米糠:骨粉	8:8:2:1:1				1.90	2.24	0.38	0.97	0.28	廖[9]
木屑:穀殼:豌豆殘体	2:1:1				1.89	0.34	0.38	1.02	0.17	廖[9]
木屑:穀殼:牛糞:米糠	4:4:1:1				1.79	0.83	0.57	0.24	0.39	廖[9]
木屑:花椰菜梗:米糠 (v/v)	1:1:0.07	34	64	37	1.08	1.74	1.36	5.14	0.45	謝[8]
木屑:花椰菜梗:米糠 (v/v)	2:1:0.05	46	70	41	0.87	2.06	1.35	5.36	0.52	謝[8]
廢棄太空包:雞糞:米糠	14:5:1	17	64	37	2.23	1.01	1.70	3.98	1.40	蔡等[18]
木屑:雞糞	7:3	14	64	37	2.64	0.82	1.16	2.35	0.48	蔡等[18]
廢棄太空包:雞糞	10:1	19	60	35	1.82	4.17	1.92	5.35	1.92	蔡[7]
廢棄太空包:雞糞	10:4	16	59	34	2.18	5.70	3.33	8.55	2.75	蔡[7]
廢棄太空包:雞糞:尿素:過磷酸鈣	10:1:0.04:0.04	16	59	34	2.13	4.28	1.90	5.54	1.85	林[11]
鋸木屑堆肥		22	84	42	1.92					志賀[22]
樹皮堆肥		19	67	38	1.95					志賀[22]

#：資料來源括弧內數字爲參考文獻序號

(續表七)

2.豬糞堆肥成分含量(乾基)

堆積資材	比例	碳氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
			-----	-----	-----	-----%	-----	-----	-----	
豬糞：米糠(w/w)	19:1	9	41	24	2.53	4.92	1.23	3.86	1.45	蔡等[18]
豬糞：稻殼：米糠(v/v)	16:16:1	20~23	83~86	48~50	2.2~2.4	3.6~4.4	1.21	2.1~2.4	2.6~2.7	謝[8]
豬糞：稻殼：甘藍葉:米糠(v/v)	11:11:11:1	18	80	46	2.5	4.35	1.21	2.35	0.98	謝[8]
豬糞：稻殼：羽毛：米糠(v/v)	10:10:11:1	14	52	30	2.11	2.86	1.54	4.87	0.77	謝[8]
死豬體：稻殼：米糠(v/v)	16:16:1	11	75	43	4.04	2.84	1.13	2.94	0.47	謝[8]
豬糞堆肥		15~23	71~85	32~38	1.4~2.4	2.3~12.6	0.48~3.7	4.6~6.0	0.83~4.0	林[11]
豬糞堆肥(範圍)		9~48	27~95	13~54	0.9~5.7	0.7~9.4	0.1~2.6	0.8~26	0.2~3.1	李[13]*
(平均值)		15	62	29	2.5	2.9	1.0	8.3	0.9	

3.雞糞堆肥成分含量(乾基)

堆積資材	比例(v/v)	碳氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
			-----	-----	-----	-----%	-----	-----	-----	
雞糞：羽毛：稻殼：米糠(v/v)	10:11:10:1	11	70	41	3.75	2.98	1.86	4.56	0.90	謝[8]
死雞體：稻殼：米糠(v/v)	16:16:1	12	82	48	4.14	0.21	0.72	7.53	0.97	謝[8]
蛋雞糞堆肥(範圍)		7~15	30~41	17~24	1.35~2.5	4.6~10	2.4~4.6	9.1~33	1.2~2.1	盧[16]*
(平均值)		11	36	21	1.95	6.3	3.3	21	1.6	
肉雞糞堆肥		10	53	31	2.97	3.14	2.59	3.09	0.78	盧[16]
雞糞堆肥		10~12	50~55	22~25	2.0~2.2	14~21	5.4~5.6	12~20	2.6~3.0	林[11]
雞糞堆肥(範圍)		6~94	17~77	16~50	0.4~5.7	0.7~9.6	0.3~6.6	1.9~24	0.3~5.1	李[13]*
(平均值)		19	41	30	2.1	3.7	2.1	11	1.4	

#：資料來源括弧內數字爲參考文獻序號

*：成分含量以風乾重計算

(續表七)

4.牛(羊)糞堆肥成分含量(乾基)

堆積資材	比例	碳/氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
			%							
乳牛糞：米糠	19：1	14	55	31.6	2.26	1.53	1.54	2.34	1.62	蔡等[18]
牛糞堆肥	固液分離	17	43	24.9	1.45	2.43	1.19			蔡等[17, 19]
牛糞堆肥		14~19	48~55	28~32	1.7~2.0	0.8~1.4	2.1~2.6			蔡等[17, 19]
牛糞：羽毛：稻殼：米糠(v/v)	10：11：10：1	9	68	39	4.43	2.50	1.67	2.80	0.57	謝[8]
牛糞：黃豆粕：稻殼(v/v)	1：1：4	25	73.9	43	1.72	0.44	1.07	2.32	0.75	倪[10]
牛糞堆肥		12~15	63~65	28~29	1.9~2.3	5.2~6.6	2.0~6.0	4.2~7.7	2.1~3.8	林[11]
牛糞堆肥(範圍)		4~24	36~85	15~41	1.2~3.9	0.8~5.1	0.4~3.2	1.9~23	0.7~2.4	李[13]*
(平均值)		12	56	28	2.2	2.3	1.6	9.1	1.3	
羊糞堆肥		13	76	34	2.7	4.81	5.06	8.3	2.0	林[11]

5.蔗渣有機肥成分含量(乾基)

堆積資材	比例	碳氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
			%							
蔗渣堆肥		21	58	26	1.22	0.25	0.49			黃等[20]
蔗渣：濾泥	1：1	9	27	12	1.40	1.31	1.19			黃等[20]
蔗渣濾泥		13	38	22	1.69	1.69	0.70	2.24	1.37	李[13]*
蔗渣：污泥	1：1	38	70	32	0.85	0.19	0.42			黃等[20]
蔗渣：豬糞渣	1：1	8	79	36	4.75	2.63	0.46			黃等[20]
蔗渣：酒精廢醪	1：1	11	64	29	2.59	0.47	4.58			黃等[20]
台糖蔗渣堆肥		20	31	18	0.89	1.28	4.94			陳[12]
葡萄果渣：蔗渣	10：9	16	82	48	3.54	2.50	0.95	1.99	1.08	謝[8]

6.其他堆肥成分含量(乾基)

堆積資材	比例	碳氮比	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
			%							
污泥堆肥(加稻殼,畜產業廢水廠)		10	54	24	2.4	15.1	0.84	12.5	1.83	林[11]
羽毛：泥炭：稻殼：米糠(v/v)	11：10：10：1	9	54	32	3.52	1.92	1.34	3.12	0.25	謝[8]
葡萄梗肥		18	74	43	2.45	1.42	2.52	1.68	0.63	謝[8]
花椰菜梗肥		15	51	29	1.99	3.39	2.35	5.47	0.78	謝[8]
花椰菜梗：稻殼：米糠(v/v)	1：1：0.1	32	59	34	1.07	1.47	1.55	8.92	0.80	謝[8]
花椰菜梗：稻殼：木屑：米糠(v/v)	2：1：1：0.2	38	69	40	1.06	1.24	1.35	7.07	0.63	謝[8]
垃圾堆肥(n=2)		16~20	28~31	18	0.9~1.1	0.9~1.1	0.8~1.5			陳[12]

#：資料來源括弧內數字為參考文獻序號

*：成分含量以風乾重計算

表八、其他有機資材成分含量(乾基)

樣品	有機質	碳	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	資料#來源
	------	------	------	------ %	------	------	------	
泥炭(n=2)	63~84	36	0.66	0.41	0.41			陳[12]
魚精(阿拉斯加)			7.22	1.76	1.75	0.10	0.20	謝[8]
胺基酸(植物性)			1.3~2.2	0.09~0.14	1.9~5.2	0.32~0.36	0.1~0.25	謝[8]
胺基酸(動物性)			1.31	0.14	1.99	0.36	0.10	謝[8]
奶粉			4.95	0.21	1.92	2.07	0.18	謝[8]
煉奶			1.49	0.62	0.59	0.39	0.05	謝[8]
海草粉			1.08	0.23	2.25	2.41	1.17	謝[8]
海草精			0.11	0.37	2.81	0.04	0.03	謝[8]
糖蜜			1.11	0.16	0.33	0.74	0.80	謝[8]
生物污泥	51		3.79	1.74	0.30	21.8	0.40	李[13]*
啤酒廠污泥	10		0.76	0.44	0.08			陳[12]
廚餘液	3	1.5	0.08	0.002	0.60			陳[12]

#：資料來源括弧內數字為參考文獻序號

*：成分含量以風乾重計算

五、參考文獻

1. 李豔琪、連深。1997。有機質肥料之主成分含量及其變異。中華農業研究 46(2)：181~189。
2. 李豔琪、陳琦玲。1999。有機資材與有機質肥料之成分分析。豐年第 49 卷 17 期：47~54。
3. 連深、李豔琪。1994。有機質肥料之重金屬含量及「肥料規格」之有關規範。中華農業研究 43(4)：412~424.
4. 連深、李豔琪。1996。有機質肥料之重金屬及主成分含量變異與現行「肥料規格」之有關規範。土壤肥料通訊 55：9~12.
5. 簡宣裕、莊作權。1997。廢棄香菇木屑堆肥研製及對小白菜之肥效。中華農業研究 46(1)：70~81。
6. 謝慶芳、徐國男。1998。台灣有機農業生產資材特性之調查。農作物有機栽培技術專刊 p11~26。台中區農業改良場編印。

7. 蔡宜峰。1994。菇類太空包廢料堆肥化製作之研究。台中區農業改良場研究彙報 44：13~21。
8. 謝慶芳。1998。快速醱酵機處理有機廢棄物之效果。第一屆畜牧廢棄資源再生利用推廣研究成果研討會論文集 P.101~119。台中市。
9. 廖乾華。1998。蔬菜栽培介質製造技術之研究。農產廢棄物在有機農業之應用研討會論文集 P.33~40。桃園區農業改良場編印。
10. 倪禮豐。1999。行政院農業委員會花蓮區農業改良場。未發表。
11. 林財旺。1998。優良品質禽畜糞堆肥之製作。第一屆畜牧廢棄資源再生利用推廣研究成果研討會論文集 P.68~77。台中市。
12. 陳仁炫。1999。國立中興大學土壤環境科學系。未發表。
13. 李艷琪。1999。行政院農業委員會農業試驗所。未發表。
14. 焦彬、顏榮申、張學上。1986。區划。中國綠肥 P.726~730。
15. 嚴式清。1989。畜牧廢棄物在有機農業之利用。有機農業研討會專輯 p.229~242。台中區農業改良場編印。
16. 盧金鎮。1994。雞糞及其堆肥之成分調查分析。中華生質能源會誌 13(1~2)：147~154。
17. 蔡宜峰、莊作權、黃裕銘。1994。牛糞堆肥化技術改進之研究。中華生質能源會誌 13(1~2)：134~140。
18. 蔡宜峰、莊作權、黃裕銘。1998。堆肥養分含量比例對土壤肥力及玉米生育之影響效應。第一屆畜牧廢棄資源再生利用推廣研究成果研討會論文集 P.152~158。台中市。
19. 蔡宜峰、陳清文。1993。施用牛糞堆肥對一般作物及土壤特性之影響效應。台中區農業改良場研究彙報 40：9~16。
20. 黃啓民、陳文崇、沈恒光、張順榮、李松伍、王隆輝。1994。大量蔗渣有機肥之經濟製造。生質能源研討會論文集。台北市。
21. 蔡永皞。1998。快速堆肥製造技術之研究。農產廢棄物在有機農業之應用研討會論文集 P.21~32。桃園區農業改良場編印。
22. 志賀一一。1988。水田土壤中各種有機物的分解過程。農業與園藝第 63 卷第 4 號。

有機質肥料種類與利用

林木連

行政院農業委員會農業試驗所

有機質肥料為人類寶貴的資源，雖然有機質肥料大部份是來自農畜產廢棄物，但這些仍含有作物可資利用之必需養分，利用科學及省工之製造方法，一方面使得資源可以好好被再使用，一方面也可使這些廢棄物不因處理不當而污染大自然的生態環境。

有機質肥料之製造生產顯然對能源之依賴不像化學肥料那樣高，基於來自礦石的磷、鉀肥生產有耗竭的一天，要使農業能永續地經營下去，自然界養分的循環利用，在日後有機質肥料應當是佔有相當要之地位。

一、有機質肥料之定義

凡肥料成分以有機質型態為主者均稱之。一般動植物體或殘體、新陳代謝產物、有機廢棄物，經過適當的堆積、發酵或其他處理後可施用於農田當做肥料者，都可稱作有機質肥料。

在我國之肥料管理法規中，把有機質肥料定義為須含有 60% 有機質之肥料才能稱作有機質肥料，其著眼點主在於透過含高有機質之肥料施用以改善農田之地力。而能被稱為有機複合肥料的是指內所含有機質在 30% 以上者。

二、有機質肥料之種類

基於農工業副產業或廢棄物充分利用之原則，有機質肥料種類實在繁多，但我們仍可將它依來源之不同做一簡單之分類，即可把有機質肥料分為：1.植物性有機質肥料。2.動物性有機質肥料。3.有機廢棄物由來肥料。4.有機質土壤改良資材。5.堆肥。若依取得之方式則可分為自給有機質肥料及市售有機質肥料。

（一）植物性有機質肥料

植物性有機質肥料之種類有油粕類、樹皮、稻稈、蔗渣、鋸木屑、穀殼、花生殼、米糠、果蔬處理殘餘物等。

1.油粕類

油粕是指富含油分之種子經榨油或溶劑提油後剩餘之殘渣，亦稱油餅。

油粕可做爲家禽畜及魚類之飼料，一部分可做爲有機質肥料施用於農地。台灣因爲沙拉油及其他種食用油工業發達，所生產之油粕如大豆粕、花生粕數量相當多，其他種粕類如菜籽粕、棉籽粕、蓖麻粕、胡麻粕、椰子粕則自印度或泰國進口以供肥料用。

台灣地區之油粕類主要使用在高經濟價值之溫帶果樹如高接梨、茶樹及高冷蔬菜。

主要油粕類有：

（1）大豆粕

大豆粕爲有機溶劑提油後之殘餘物，所含之氮素大部份爲蛋白質型態。它在土壤中分解成銨態之氮素爲所有植物性油粕中，最爲迅速者。磷素則大部份爲有機態，肥效遲緩。鉀素大部份爲水溶性，含量約 2% 左右，次於鉀含量很高的椰子粕。大豆粕之 C/N 比（碳氮比）約在 4.7 左右，屬低碳氮比有機質肥料，在土壤中分解迅速。

大豆粕爲屬單價高之有機質肥料，它的高氮素含量在多量施用下，幾乎可與化學肥料之肥效相比，然亦可供給其他微量元素，但磷、鉀素之含量則顯然不足，仍須由化學肥料加以補充。大豆粕在夏季施用後分解迅速，可做追肥使用。

豆粕切忌與尿素共同施用，以免尿素急速分解而使氨氣揮散掉。與其他豆粕類一樣，大豆粕切忌長期儲放，尤其在氣候潮濕的情況下，易引起微生物發酵，增加以後施用之麻煩，同時肥分亦會損失。與其他粕類一樣，老鼠很喜歡咬吃肥料袋中之大豆粕，應注意妥善貯藏。

（2）花生粕：

不含殼之花生粕其氮素含量幾乎與大豆粕相當。含殼之花生粕肥分稍差，但卻含較多之纖維性有機質，對土壤物理性改良較有助益。與其他粕類一樣，油分殘餘量之多寡會影響在土壤中分解之速率。

（3）蓖麻粕：

蓖麻粕除含氮量高外，磷素之含量亦高。其成分與菜種粕、棉籽粕約相當。

C/N 比約在 4.5 左右。蓖麻粕在土壤中之分解速率較大豆粕遲緩，但無機態氮素之硝化作用較大豆粕爲快。蓖麻粕仍不能單獨當完全肥料使用，仍須補充不足之磷、鉀素。施用蓖麻粕對土壤大型，團粒之形成，透水性之改善有其正面之效果。

（4）棉籽粕：

棉籽粕之特性是含有高量的磷素，雖然遠比米糠粕的磷（P_2O_5）含量 5.82% 爲低。棉籽粕之 C/N 比在 4.5 左右。棉籽粕因含纖維質果皮，故施用棉籽粕可比其他豆粕類獲得維持較長久之有機質。

（5）胡麻粕：

胡麻粕乃一非常高價之油粕類，其磷素含量稍低。由於胡麻粕乃用壓榨法提油，故其殘存之油分較其他油粕以溶劑提油者爲多，故在土壤中之分解速度稍爲遲緩。

（6）米糠粕：

米糠粕乃由蒸熱榨油脫脂而成。米糠粕一般一部份充做飼料用，一部當做肥料用。米糠粕之特點爲氮素含量只爲一般油脂之 1/2 至 1/3，然磷素含量卻相當高（5.82% ）。C/N 比則高達 15 左右。米糠粕在土壤中之分解速率要比未經榨油之米糠來得快，因米糠含有 15-20% 左右之油脂。

其他種類之粕類尚椰子粕、亞麻仁粕、桐子粕，所含之肥料成分多少不同，但性質卻很相近。各種粕類肥料成分對照表如表 1，可供做爲估計施用粕類時總氮量之參考。

表一、各種粕類參考成分對照表（% ）

種　類	氮 N	磷酐 P_2O_5	氧化鉀 K_2O
棉籽粕	5.38	2.61	1.90
蓖麻粕	5.50	2.83	1.20
椰子粕	4.28	1.24	2.67
亞麻仁粕	5.09	2.06	1.33
花生粕	6.55	1.33	1.00
花生殼粕	5.07	0.98	1.50
大豆粕	6.50	1.37	2.14
桐籽粕	2.94	1.04	0.77
胡麻粕	5.07	0.98	1.50

粕類肥料之共同特色是單價高、低碳氮比，一般在土壤中分解迅速，肥料爲有機質肥料中屬較快者。粕類質輕，且因爲是提油後之產物大部份具有美好之芳香味，一般種質高經濟價值作物的農民甚爲喜歡使用，尤其是高級茶業產區。
油粕類在土壤中的分解須靠微生物的參與，所以寒冷季節粕類分解就緩慢，宜當基肥使用。油粕類比較被認爲是屬養分型之有機質肥料。

近來製成條狀或粒狀且添加化學肥料之粕類複合肥料已有甚多品牌生產，此等商品具有機質肥料與化學肥料同時施用節省施肥勞力之優點。

2.其他農產品加工副產物及稿稈

製糖副產品如蔗渣、糖蜜、濾泥，含有高量之有機質。粕類如釀酒粕、醬油粕、酢粕、豆腐粕、煙草粕含有肥料成分及高低不一的有機質，經適當之處理堆肥化後都可當肥料使用。

據估計台灣年產稻穀約 50 萬噸，玉米穗軸 20 萬噸，稻草 260 萬噸，甘蔗葉 210 萬噸，這些都是優良的堆肥材料。谷殼除被大量用做爲田園之覆蓋材料外，也被添加入家禽畜排泄物中，以促進糞便之醱酵及提升家禽、家畜糞堆肥之有機質含量。

食用或榨油用之花生，其所遺留花生殼則廣泛被用做茶樹行間之覆蓋材料，用以防止雜草之生長及保持土壤之水分，且有防止土壤沖蝕之效果。此類覆蓋材料腐爛後則爲土壤有機質之廣大來源。

本省盛產之稻草一年估計約有 260 萬噸，惜部份農民均採燃燒之方式處理，不僅會污染環境，增加空氣中 CO_2 及 N_2O 之含量，造成溫室氣體效應，稻草稈中之氮、磷、硫成分也會因燃燒而損失掉，內所含之有機質也完全泡湯。

3.樹皮堆肥

台灣地區木材工業發達，每年約消耗六百萬立方公尺以上之原木，使得所產生之樹皮、鋸木屑廢料數量相當龐大，此等樹皮廢料之來源尙包括化學纖維工業及紙漿工業等，是爲豐富製造樹皮堆肥之來源。

(1) 樹皮堆肥之特性

樹皮堆肥具有高含量的有機質，其含量約在 70-80% 之間，且有機質中所含之木質素相當多是其特性。木質素在土壤中分解緩慢，且是土壤中轉化爲腐植質之來源。樹皮堆肥是高度安定之有機質肥料。

樹皮堆肥陽離子交換能量高約 70m.e/100g 左右，具良好之保肥能力。樹皮堆

肥之保水能力也相當良好。

樹皮堆肥之氮磷鉀素含量稍低，以一廠牌之成分爲例分別在 1.2% （N），1.1 % （P_2O_5）及 0.5% （K_2O）左右。醱酵時混有雞糞、米糠之樹皮堆肥則 N、P 之含量較高。

樹皮堆肥爲良好之土壤改良劑，使用時開溝深施配合化學肥料施用，效果良好。

（2）製造方法

目前台灣樹皮堆肥有數家廠商在販售，然便宜之樹皮堆肥有賴自家生產，以降低使用成本。樹皮堆肥製造方法簡述如下：

①向鋸木廠或其他來源收集樹皮，載回後應用機械及人工操作打碎。

②將樹皮材料以 20-30 公分厚平鋪地上，以 5-10% 之容積量，添加土壤、雞糞、米糠等材質，以供給微生物源及其活動之養分。人工之操作量一次用量以 200-300 公升爲宜。

③澆水並將原料攪拌均勻，適度之堆積材料含水率爲 55-60% 之間。水分含量 65 % 以上，通氣不良，微生物活動緩慢。

④將混好之原料堆積，高度以 1.5 公尺爲宜，寬、長各 2 公尺，即最小堆積單位爲六立方公尺，因爲有適當之容積才能提高醱酵之溫度，且保溫較良好。

⑤堆積方式之選擇應配合個人勞力、可利用空間及機械而定，一般以室內堆積，免受雨水干擾，效果較爲良好。簡易之堆肥設施。亦可用空心磚組合成堆肥槽。

⑥利用長型溫度計追蹤樹皮堆肥之發熱狀況做爲翻堆作業之參考。堆肥化良好之堆肥應續保持醱酵溫度 65-70℃二十幾天左右。大約一個月後就實施翻堆工作。

⑦翻堆時應再澆水，調整水分含量，翻堆再堆積後之溫度若能在第 25 天保持 62-65 ℃表示堆肥之製造已成功。

⑧將堆肥儲藏 2-4 個月以利後熟。後熟期間應注意加水及攪拌以免過分乾燥。後熟期間若能施行翻堆 1-2 次則更能促進堆肥之腐熟。

（3）樹皮堆肥之利用

在國內外，尤其歐美、日本，樹皮堆肥之利用範圍愈來愈廣，如應用在林業有苗圃之基肥、苗木覆蓋；農作物、蔬菜之基肥及覆蓋；其他如綠化樹木、果園、花卉等園藝用。樹皮堆肥之用量：苗圃約每公頃 30-40 噸；綠化樹木：樹木高 1 公尺以下 3-5 公斤，樹高 2-3 公尺者爲 10-15 公斤，樹高 4-6 公尺者爲 20-40 公

斤；一般花卉園藝使用每公頃 10-30 噸；一般果樹園每公頃 10-20 噸；當覆蓋材料，苗圃以淺覆蓋 2-3 公分，農作物及果樹則爲 5-10 公分左右。

綠肥之種類與利用

凡種植植物或自然生長之植物，在其生育期間將其耕入土壤中，以增進土壤養分以供作物利用或改良土壤的理化、生物性質都可以稱作綠肥作物，或簡稱綠肥。

人類栽培綠肥作物已經有很久遠的歷史，我國古代的除草肥田及養草肥田可以說是綠肥利用的雛形，到公元三百年左右的西晉時代就已經知道綠肥的栽培利用，根據史書的記錄，那個時候種植的綠肥是西元 129 年由張騫自西域引入之苜蓿。

台灣在日據時代已積極引入綠肥作物，較重要的有由印度引入田菁、苕勞豆、羽扇豆等。台灣光復以後的農復會及有關農業試驗機關所亦相繼引入。

綠肥作物是人類重要之資源，好好利用綠肥是提高土壤生產力及維持土壤永續生產所必需。由社會經濟之層面來考慮，利用綠肥才能減少化學肥料之施用，部份替代高價有機肥料之投入。

（1）綠肥的益處：

①綠肥可增加土壤之氮素養分

豆科綠肥作物可固定空氣中游離的氮素，增加土壤的氮素養分。綠肥作物具有養分循環的功能，深根性綠肥作物可將深層土壤之養分攝取，而在植體本身變成有機質分解後在表土層釋放出來，即可增加表土層之養分量。

②綠肥可改良土壤之性質

綠肥可增加土壤有機質含量進而增加土壤之腐植質，促進團粒構造，增加土壤之保水力，增加土壤之陽離子交換能力，提高土壤的溫度。

③綠肥可提高土壤之微生物活性

綠肥之有機質是微生物分解之食料，可以促進有益微生物之繁植及活動，除了促進養之釋放，亦對土壤礦物養分之有效性有所俾益。

④綠肥作物本身及其所含之有機質具有減低土壤沖蝕之功用。

綠肥作物本身可阻礙部份雨水之直接打擊土壤造成沖蝕。其根系及植株本身之有機質具有膠結土壤之功能，使減輕土壤之沖蝕。

⑤綠肥種植一般在休閒地，故可暫時性藉由綠肥作物吸收土壤養分以保存在植體

中，以避免被流失掉，亦可暫時控制病蟲及雜草之危害，且可減輕連作之障礙。

⑥綠肥作物種植現金成本一般而言投入少。

⑦有些綠肥可使農家有額外收入，如大豆、花生為固氮綠肥，但亦可收穫種子售賣。廣泛種於澳洲之白魯冰，種子則為飼料用，植株及根部則可促進後作麥田之肥力。

（2）綠肥的缺點

①種植綠肥會有：時間、勞力、土地及灌溉之壓力，這些成本可能會抵消掉所節省之化學肥料成本。

②少數綠肥種子可能昂貴稀少或不易獲得種子。

③綠肥翻埋可能成本偏高及困難。

④綠肥作物可能給主作物帶來病蟲危害。間作物綠肥有時會與主作物產生水分及養分競爭。

⑤綠肥能提供作物之養分量及時效難以預測。

（3）理想的綠肥特徵

一種優良的綠肥作物最好能具有下列特徵：

①多用途，如可收穫種子又可當做綠肥用，花部既可觀賞又可當蜜源。

②生長快速，生長期短，養分累積量高。

③耐蔭性強，不怕淹水，耐旱，耐酸性土，耐冷及耐熱，對環境之適應性強，栽培容易。

④對水之利用效率高。

⑤為始氮量之需求低，生育早期就具有固氮能力，且全生育其之氮素累積率高。

⑥可定期釋放出養分，地下部儲氮量高者為優。

⑦對光週期不敏感，抗病蟲危害。

⑧種子生產量高，且發芽率良好。

⑨翻埋容易。

⑩對根瘤菌具交叉接種能力，且接種效果良好。

（4）綠肥的種類

綠肥種類繁多，依不同的區分法敘述如下：

①依來源區分可分栽培綠肥和野生綠肥，前者如田菁，後者如馬唐。

②依栽培之生長季節來分可分冬季綠肥、夏季綠肥、春季綠肥、秋季綠肥及多年生

綠肥。

台灣四季不太分明，以分冬季綠肥及夏季綠肥較為簡便。屬於冬季之綠肥如羽扇豆、苕子、紫雲英、豌豆、埃及三葉草、義大利黑麥草、油菜等；屬於夏季之綠肥如田菁、青皮豆、綠豆、豇豆、落花生、太陽麻。

多年生綠肥是指栽種利用年限在一年以上之綠肥，是屬於長期性之綠肥，一般是指種在荒地、坡地、農田空地上。屬於多年生之綠肥作物如紫花苜蓿、賽芻豆、胡枝子、 蝶豆、多年生黑麥草。多年生樹種可兼作綠肥之速生樹種如銀合歡在非州及中南美洲有用植巷作物（alley cropping），當做綠肥之實例栽培。

習慣上都把綠肥分為豆科及非豆科綠肥二類。屬於豆科之綠肥有田菁、青刈大豆、紫雲英苕子、太陽麻、花生、虎爪豆、蠶豆、豌豆、羽扇豆、富貴豆、綠豆、烏豆、埃及三葉草、珠兒豆、米豆。

屬於非豆科類之綠肥有蕎麥、油菜、大菜、黑麥草、滿江紅等。

豆科綠肥作物：

綠肥作物大部份是屬於豆科，因為

－豆科綠肥作物與根瘤菌共生，能固定空氣中之氮素供自己生長所需，於田間栽培不必
供給額外之氮肥。

－豆科植物生長迅速，栽培容易，能短期獲得高生草收量，且植體含氮量較非豆科植物
高。

－豆科植物莖葉多柔軟，拌入土壤中分解容易。

－大部份豆科植物因葉片較大，地表覆蓋性良好。

－部份豆科作物屬深根性，能利用土壤深層養分，有利養分循環應用。

豆科綠肥作物為人類珍貴之資源，其種類相當繁多。根據報告，大陸之豆科綠肥種源約有 532 種。現代生物科技雖能使基因相互移轉或再重組，但基因質之喪失卻難再恢復，豆科綠肥種源是地球自然資源的一部份，它們是一種能源植物，人類必須好好加以保育利用。

非豆科綠肥作物：

此類作物並無固定氮素能力，種植時須視作物之生育情形酌施化學肥料。因植體含氮量 低，故栽培本類作物主在增進土壤之有機質。非豆科綠肥作物一般在下列

環境條件下栽培：

–貧瘠土壤，缺少有機質，且各種豆科植物生長不良，或生草收量不高。

–土壤有機質分解旺盛如熱帶地區高溫多雨有機質消耗快速，故需補充多量之有機質，若無適當之豆科綠肥作物供栽培可採用非豆科綠肥作物。

–部份非豆科綠肥作物，尤其十字花科綠肥花期長，爲良好之農業景觀及蜜源植物，如雲林地區之養蜂收集花粉產業須要而於冬季廣植油菜。

–氣候、土壤均不宜豆科綠肥，或因後作農時緊迫，若種植豆科綠肥未能有良好綠肥收量。

非豆科綠肥植物主要有裸菜、燕麥、玉米、黑麥草等，屬禾本科；油菜、芥菜、大菜則屬十字花科，蕎麥則屬蓼科。

於大陸江南及越南水稻田常用之滿江紅水生蕨類植物則爲非豆科固氮綠肥作物，則屬槐葉萍科，經由藍綠藻之共生固氮可供水稻田部份氮素。

一般而言，非豆科綠肥作物均具綠肥作物的良好條件即生長期短或適應短日照，同時生長強盛可善用土壤之養分，栽培管理容易，產量高，無重大病蟲害問題。

（5）綠肥作物栽培方式

綠肥之栽培方式依農地經營、栽培期及主作物種類之不同可分三種方式即：

①主作法

綠肥本身是一種主作物，都利用在休閒地種植，一般採取之綠肥種類以生育期長，且生長收量多者，如此才能供給作物多量之養分及有機質。一般能利用休閒地種植綠肥之農地爲大農場、或政策性之轉作綠肥、或土地特別貧瘠之農地須補充有機質及養分時才採用。台糖公司之自營農場常用蔗田休閒地種植太陽麻以增加蔗田之地力。

②間作法

於主作物行間或主作物尚未成長時周圍種植綠肥作物，如於梨樹周圍種植三葉草，或多年生黑麥草。本省北部之茶園於民國四十幾年間曾有八千多公頃間作黃花羽扇豆之推廣面積。

③裡作法

在作物收穫後即整地或不整地種植綠肥，等綠肥作物成長，在次一作種植前將綠肥耕犁埋入土中當做肥料。農業試驗所過去試驗成功之例子：於台南白河、

新營、學甲三地，於一期水稻或春作玉米（或春用高粱）收穫後，採夏作種植田菁，於九月間應用「圓盤切割式不整地施肥播種機」，實施秋作玉米不整地栽培，發現比整地栽培玉米有較好之產量。田菁及大豆（或毛豆）常是本省農田輪作系統常用之綠肥作物。

（6）本省主要綠肥作物栽培法

綠肥的栽培是屬於有機質肥料之應用，綠肥可以說是土壤保養的補劑，在農政單位大力推廣種植綠肥及鼓勵休耕農田轉作綠肥作物政策下，綠肥的種植又漸漸受農民重視。

本省田菁的種植以中南部爲多，苕子則以彰化種植較多，油菜則以雲林爲主，大菜則分佈在台東，休閒蔗田則偶見有太陽麻之蹤跡，埃及三葉草及紫雲英則以北部分佈較多。本省新社鄉之種苗改良繁殖場則爲供應本省綠肥種子及豆科牧草之大本營。一般綠肥之推廣，農會或鄉鎮公所亦扮演重要的角色。

一些重要綠肥之栽培簡要敘述如下：

①田菁

適用於本省中、南部及東部種植，播種適期爲 3~7 月間有雨滋潤之季節，播種量每公頃 30 公斤，通常於第一期水稻收穫前二週撒播。

田菁掩施最佳時機爲株高 1 公尺以上較適宜，因此時葉柔軟，肥效高，若埋入土中分解速度較快，故以早期耕犛爲佳。

②油菜

播種適應期以 10 月中旬至 11 月上旬爲佳，若春作休耕可於 2~4 月間播種。油菜之播種量每公頃約 7~8 公斤，行撒播。油菜播後可視它的發育情形施用化學肥料。

油菜適當之掩埋時機爲第一期水稻插秧前 3 星期整地時犁入田間與土壤充分混合，並應保持適量之土壤水分。春作宜在油菜半數開花掩施。

③大菜

屬十字花科，形狀與蘿蔔相似。適於稍冷之季節種植，於第二期水稻收割後作 2~3 公尺寬畦，施行點播，株距約 50 公分，播種量約每公頃 10~20 公斤，掩施時期與方法與油菜頗爲類似。

④太陽麻

太陽麻喜溫暖、日照充足之環境，惟不耐浸水，適合旱地栽培，爲台糖公司

蔗田常用綠肥。可春植亦可秋植，於作物收穫後耕犁整地、土壤稍爲濕潤即可翻埋犁入土中。

⑤大豆類（大豆、青皮豆、烏豆）

青皮豆及烏豆均屬大豆類，在本省一年可栽種三次即春作、夏作及秋作。大豆類又依採收時期不同可分爲毛豆及成熟大豆二類。毛豆之栽培在屏東地區最多。

大豆類綠肥作物之栽培一般以高屏地區爲多，大部份利用第二期水稻收割前二週不整地直接播種於田間。每公頃播種量爲大豆 40 公斤，青皮豆 30 公斤，烏豆 60 公斤。大豆類作綠肥時，可看生育初期生長情形酌施氮肥以促進生長。田間若乾旱，應進行灌溉。

大豆類綠肥約在播後 70－80 天可達最高生草收量，即可犁入土中，一般配合插秧，大部份於水稻種植前二週作業。

⑥羽扇豆

又稱魯冰，乃取其英文名 lupin 之故。羽扇豆爲古老之綠肥作物。耐寒、耐旱及耐酸性土壤，適合本省北部茶園及中、高海拔茶園種植。初次種植羽扇豆應接種根瘤菌，否則生育欠佳。

一般播種時期爲秋、冬採後九月下旬至十一月上旬，土壤濕潤時開植溝播種，株距約 30 公分，條播後覆土，每公頃播種量爲 15 公斤。

種植黃花羽扇豆須自行留種。若種白花羽扇豆市面上有種子出售，惟白花羽扇豆生草收量稍低。適合種植羽扇豆之茶園爲四~五年生以下之茶樹，利用茶樹行間種植，既可提供茶樹肥分亦可防止雜草生長，約在翌年 2~3 月間即可翻埋入土中。

⑦苕子

苕子爲越年生纏繞性草本豆科植物，莖長約 1－2 公尺，葉爲羽狀複葉，花呈紫紅色。每公頃生長良好苕子莖葉收量可達三萬公斤以上，其含氮成份約爲 0.48%。

⑧紫雲英

紫雲英爲越年生草本豆科植物，莖分枝多、葉互生、羽狀複葉。性喜溫暖，惟具抗寒性，適宜排水良好的壤土或粘質壤土，太乾旱或潮濕之土壤不適合種植。

本省適合種植紫雲英之地區爲中部、北部及東部。播種適期爲 10 月中旬至 11 月中上旬，可行播種，每公頃種子量爲 10 公斤。播種前爲促進發芽率可先將種子先行浸水 10 小時。目前紫雲應販售之種子並未附接種劑，可從去年種植紫雲英而

生長良好之田區取土壤施行接種，比例 1 公斤種子約須混合 20 公斤接種土。如土壤的 pH 在 5.0 以下則需施加石灰調整 pH 值，以促進紫雲英之生長。

紫雲英可在開花盛期時翻埋耕犁入土中以當綠肥使用，耕犁時期約在主作物播種前 2－3 週間。生長良好之紫雲英每公頃之生草收量約 2－3 萬公斤。

⑨埃及三葉草

埃及三葉草為溫帶一年生豆科草類，原產於小亞細亞，以後傳到埃及廣為種植，並因其三片小葉故名埃及三葉草。一般綠肥用三葉草以單刈型者為主。埃及三葉草性喜中性之土壤，而氣候以冷涼之地區種植為佳。適合種植於本省中、北及東部地區，適當之播種期為 10 月中旬至 11 月中旬，每公頃播種量約為 10 斤，以用撒播為主。播種前先行將種子浸水６－８小時，可確保發芽力良好。浸種後風乾再與根瘤菌接種劑充份拌合供播種用。

酸性土壤地區種植埃及三葉草當綠肥時施加石灰效果良好，生草收量可大幅增加。

⑩豌豆

為一年生或二年生草本，蔓長者可達二公尺，羽狀複葉。豌豆生性強狀，耐寒力強，適應性良好。

在台灣之播種期以１０－１１月為佳，太晚則防礙隔年水稻之插秧。種植方法為二期稻作收穫後，整地播種覆土，若冬季雨量多時應作高畦，以利排水，點播時穴距５０公分，每穴２－３粒，每公頃播種量約８０－１００公斤，在結實初期即可整地翻埋入土中以當綠肥，每公頃生草收量約一萬斤左右，含氮量約４５公斤。

由於化學肥料的價格低廉，耕作勞力的缺乏使得過去綠肥作物在本省農地之利用受到限制。但近年來農田地力之維護又漸漸受到政府政策上之重視，有機質肥料之研究與推廣已被注入新的興奮劑，綠肥作物之種植在本省又漸漸被勾起記憶，能利用綠肥來改良自己農田的人是勤奮、有知慧，瞭解綠肥的好處的農民。

（二）動物質有機肥料

動物質肥料主要包括魚肥、屠宰場廢棄物、海鳥糞、人糞尿、家禽畜排泄物等。

1. 魚肥

（1）魚粕

將雜魚肉及其內臟蒸煮後壓榨油分以除去脂肪及水分，再將其乾燥，如磨成粉者爲魚粉，除了做飼料用外亦有當肥料使用，惟在台灣施用此種肥料之例子極少，茶園因需多量氮肥亦有農民施用。

魚粕或魚粉之特點爲高氮且高磷成分，全氮素 7-10% ，全磷則在 4-9% 之間，鉀素在 1% 左右。

魚粉爲速效性之肥料，因所含氮素幾存於蛋白質或氨基酸之中，故施用初期因產生 NH_3 關係會使土壤 pH 上升而後因硝化作用進行再使土壤 pH 值下降。

魚粉爲低碳氮比之有機肥料，施用後在土壤中分解迅速。魚粉連年施用會使土壤有肥沃化之現象，須變更位置施用，不要每年施用同一地方。魚粉雖含高氮磷成分但因鉀素含量少，不能當完全肥料施用應補充化學鉀肥。

（2）乾魚

乾魚主生產於沿海地區魚獲量多時，利用日光能 2-3 日間晒乾而後磨成粉當飼料或肥料使用。日本有施用於果樹及茶樹之例子，乾魚粉因含脂肪較多故肥效較上述之魚粉慢。

2. 屠宰場廢棄物

雞、豬、鴨、牛、羊等屠宰場之血液、內臟、皮毛、角蹄、骨頭等均可作爲肥料。

（1）肉粉

屠宰場或畜品加工廠之廢肉經煮沸，去除上層浮油，然後用壓榨機再除脂肪及水分，經乾燥磨成粉末，一部份可作肥料使用。

肉粉含氮量平均約 8.2% ，磷素 3-4% 之間，鉀素含量較少。

（2）骨粉

骨粉在商品之名稱肉骨粉、生骨粉、蒸製骨粉、脫膠骨粉四種。

①肉骨粉

材料爲廢肉、內臟及骨骼調製乾燥磨成粉者。肥分特點爲氮素約 6% 左右，比肉粉低，但磷素可達 10% ，屬高磷成分有機質肥料。

②生骨粉

將生骨壓碎或加水煮沸，以除去部份之脂肪，然後在粉碎製成。生骨粉氮素約 3.4% ，磷素 18.7% ，但磷素肥效遲緩，適用多年生作物果、茶樹施用。

③蒸製骨粉

將生骨稍加搗碎在加壓斧以 2 個氣壓左右加壓蒸煮 2-4 小時，以除去脂肪，或用茶
或苯以脫去脂肪，乾燥磨碎而成，為市售骨粉之大宗。骨粉有機質含量少，對土壤改良效果不佳。主要之肥效為高含量之緩效性磷約 20% 。
④脫膠骨粉為製造膠質之副產物，脂肪含量極少。

（3）乾血（血粉）

乾血為屠宰場之大量廢棄物，一般有加醋酸及硫酸使促進初期凝固，再用加熱使血液最後凝固、乾燥而製成血粉。乾血亦有作為堆肥之材料，以提高堆肥之含氮量。
乾血含高量之氮素，磷素則在 1% 以下，為速效性動物質有機質肥料，但價格偏高。

（4）其他動物性肥料

蒸製蹄角粉：含氮量約 10% ，但因型態大部份為有機性之幾丁質，在土壤中分解緩慢，宜當基肥使用。

蒸製蹄角骨粉：因含骨粉所以含磷量較高，亦屬緩效性有機肥，宜當基肥使用。
蒸製皮革粉：氮約在 6-10% 之間，含磷、鉀量少，氮素之肥效屬遲效性，宜當基肥使用。

3.海鳥糞

多分佈在熱帶大陸沿海之島嶼上。因海鳥以魚類為食物，故糞尿中之氮、磷含量甚為豐富。

海鳥糞之出產地如秘魯、智利、澳州等地。海鳥糞所含之氮為尿酸及尿酸鹽，且多變為碳酸銨等鹽類。

海鳥糞因海鳥所生長停留之島嶼，氣候型態不同可分氮質鳥糞與磷質鳥糞。氮質鳥糞都分佈於雨量稀少地區，因糞便發效慢，且少雨故銨鹽之損失也較少。在日本氮質鳥糞公定規格之氮素含量不得少於 12% 。台灣亦有商人由國外進口鳥糞販賣，但價格偏高。

磷質鳥糞則分佈於高溫多雨地區，鳥糞中之銨鹽較易流失，磷酸鹽與石灰化合而沉澱積聚。一般磷質鳥糞含 P_2O_2：20-25% ，N：4-6% 之間。

4.人糞尿

本省過去稱為下肥，其重要性可以說完全消失，因各家庭廁所以改為沖水馬桶式，人糞尿多經由下水道排出而不用。在都市具有衛生下水道處理廠者則在經由

各種污染處理後，將處理液經由河川或海洋放流。剩下之污泥乾燥後有製成粒狀之污泥供農業、林業利用，但因含一些重金屬並不受歡迎。

人糞尿可以說是功成身退之有機肥料，中國大陸過去二千多年農田土壤肥力之保持可以說是依靠人糞尿。我們也應對人糞尿有所認識。

人糞尿之肥料成分含量因人種、年齡、生活環境、食料而有所差異。其成分如下表：

表二、人糞尿之肥料成分含量

水分	有機物	灰分	N	P_2O_2	K_2O
-------------------------------- % --------------------------------					
95	3.4	1.6	0.19	0.45	0.13

人糞尿因衛生問題之考慮須腐熟後才能使用，一般夏天須二個星期，冬天須四星期左右。腐熟之人糞尿氮、磷、鉀素為速效性的。因氮素大部份變為銨態，故應注意防止氨之揮發，如加水稀釋使用，施用後應覆土，土壤乾燥及天氣炎熱時不要施用以免氨氣揮發損失。人糞尿年年施用易使土壤變成酸性，宜利用石灰中和回來。

4.家禽畜排泄物

台灣由於生活水準之提高，豬肉外銷之興盛，使得近幾年之家禽畜糞便總量都達八、九百萬噸之多，數量可謂相當龐大。這些廢棄物的產出使得台灣有五十幾家左右之有機肥料廠，製造家禽糞有機肥料出售，充分利用雞豬牛糞生質能源，使其在回歸農田。

（1）牛糞尿

本省養牛事業發達，以養乳牛者為多，肉牛甚少。牛糞尿視牛齡、飼料及敷料種類不同，其成分亦有別，但因牛以吃草為主飼料所以牛糞中有機質含量也較多可達 15% ，牛糞中含水量亦較多，碳氮比約在 16 左右，牛尿中含鉀量就相當高，約 1.3% 左右。

牛糞肥效較差，含有成分中有效率，N 為 30% ，P 為 60% ，K 為 90% 左右，而牛尿則百分之百有肥料效果。牛糞之氮屬遲效性之氮，因此施用時考慮作物之養分

吸收之時效性。最好牛糞堆肥與化學肥料配合施用，以 30% 牛糞堆肥當基肥使用，而 70% 使用化學肥料（以氮素之需要量來估計）。牛尿不經腐熟即可施用，但生牛糞及乾燥牛糞因施後有機質極速分解，須於作物種植前一個月施用，且土壤水分須適當使牛糞在土壤中迅速分解。

在本省具規模之牛糞堆肥廠不多約僅二家，分佈於雲林崙背及苗栗市。一般此種堆肥廠製造之有機肥品質較穩定可直接施用於農田。

（2）豬糞尿

豬糞之含水量比牛糞少，但所含肥料成分卻較多，因此對豬糞是種肥料之感覺性較強。

豬糞之碳氮比大約為 12，其氮肥之有效率大約是 70% ，磷也是 70% 左右，而鉀約在 90% 左右。豬糞之缺點是臭氣味道強，因此在製造堆肥時其技術必須加以克服，否則常易引起臨近住家環保抗爭問題。

豬糞尿之成分因飼養方法不同如飼料之種類、糞便尿之收集方式而有很大之不同。台灣養豬是一種大產業，據調查約有六萬戶養豬戶，每年約有七百萬頭在養豬，故產生之廢水及糞便處理問題不可忽視。

過去老式之堆肥製造方法因堆積時間長及花費勞力多，佔用面積大，幾乎已不被使用。代之而起的是設計新穎之豬舍如利用稻穀或木屑來作吸收豬糞尿之廄肥墊料、固液分離機、刮糞機配合大型有機肥料廠之豬糞堆肥製造銷售以解決養豬廢棄物問題。

本省畜產試驗所亦開發送風管式之豬糞堆肥製作設施提供新式之堆肥製造方法，以縮短製作堆肥所需之時間，其方法是利用鼓風機供應空氣，以增進微生物分解有機物，使發酵作用提高，縮短發酵之時間。

豬糞堆肥因豬糞原料之肥料成分及添加稻穀之百分比多少而有不同，以豬糞稻穀製作之堆肥為例，其含水分為 20% ，有機質 60% ，氮 1.5% ，磷 3.1% ，鉀 1.2% ，是良好之有機質肥料。本省利用豬糞為主原料製作堆肥之有機肥料廠商約有十幾家之多。

（3）雞糞

雞糞之成分因雞之種類、雞齡、雞之健康情況、雞飼料成分等而有不同。然雞隻因尿少、糞多，且所食為穀類，故生雞糞所含水分較少為 60% 左右。雞糞因糞尿同體，所含肥料成分為家禽畜糞中較多者，碳氮比一般小於 10，為家禽畜糞

中之速效性有機肥。氮速之形態大部份爲尿酸態，銨態者較少，故將雞糞乾燥氮素之損失也較少。

食用豆餅之雞隻，其雞糞中所含氮素較多。卵雞之雞糞含水量比肉雞爲高，且雞糞中石灰質成分也較多，故製成分之雞糞堆肥 pH 值約在 7-8 之間。下表爲採卵雞糞之成份含量：

表三、雞糞之成分含量（ % ）

種類	水分	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
生糞	73.7	2.24	1.88	1.12	3.99	0.52
乾燥糞	19.0	2.96	5.19	2.43	9.14	1.15

*伊達昇（1991）

一般市售袋裝之雞糞有機肥料爲配合政府規定有雞質肥料應含有機質含量 60 % 以上之規定都有添加粉碎谷殼、鋸木屑或其他有機質材料之成分，同時也因這些成分之添加較利用於發酵作用之促進。但因有機質材料之添加會降低肥料成分。

未腐熟之雞糞不宜施用到有種植作物之土壤中以免引起再度發酵，傷害到作物之根系。生糞或乾雞糞應施用到土壤後一個月才可播種作物。連年施用雞糞應變更施更施肥位置勿使局部土壤有肥沃化之現象，尤其雞糞的磷素含量高，應注意土壤有效磷素含量之增加。另雞糞爲鹼性有機質肥料，雖施用到酸性土壤有改良土壤，中和土壤酸性之效果，但對性喜酸性作物如茶樹應注意使土壤 pH 勿超過 5.5 以上之範圍。

（三）有機廢棄物肥料

現今是一個講求資源有效循環利用的時代，因此一些有機廢棄物在農業生產上仍有其用途存在，如乾燥菌體肥料爲食品醱酵工業如味素工廠之有機廢棄物，仍含有可資利用之氮、磷、鉀素，是一種有機質肥料，在日本有甚多商業化產品。

污泥肥料爲有機廢棄物之一種，除下水道污泥外尙有食品工廠如豆奶製造廠廢水處理污泥，紙漿廠之紙漿污泥都含有高鈣成分，，可作爲土壤改良劑。

茶渣則爲本省飲料茶工廠盛產之廢棄物，每年已有一萬公噸以上數量，一般

混入畜糞中製成堆肥。

（四）有機質土壤改良資材

一些甲殼及貝殼類，含有高量的鈣及幾丁質，可以磨成粉末施用，有減輕作物土壤病害之效果，如蕃茄的萎黃病，一些作物的根腐病，蔓割病等。此類資材不是在供給作物養分，故被稱爲有機質土壤改良劑。

其他種類之有機質土壤改良資材還有：

1.泥炭類

泥炭爲水生及沼澤植物之遺體，它們被長期保存在水中以半分解之狀態存在，因爲沼澤中缺乏氧氣所以細菌及化學之分解速度很慢。

泥炭之形成須要相當久長之時間，它可以說是古代生物經長期沈積轉化而成的產物，尤其出現於冰河後期。它在土壤中分解甚爲緩慢，因爲保水力強，含陽離子交換能量大，是一種相當良好之土壤改良劑。

泥炭因產地不同，沈積之質材種類不同，腐熟程度及處理方法不同等而導致泥炭之組成分有很大的差異。

國外泥炭已是被應用很久之有機肥料，在台灣大部份被用在育苗介質上。

2.腐植酸類

腐植酸不易被分解，且構造穩定，可當長效性有機質肥料應用，是一種優良之土壤改良劑。腐植酸並不含大量之營養素，不屬養分型之有機質肥料。

（五）堆肥

堆肥是有機質肥料的一種，堆肥是利用含氮率低之動植物廢料及動物排泄物經堆積、分解腐熟後的產物。而廄肥是家畜排泄物加上褥草類及少量飼料殘物的混合物，在溫暖地區一般須要堆積儲藏一段時間才施用，以製成方法來看，廄肥也是堆肥之一種。

1.堆肥的目的

堆肥的目的在於：透過堆積材料之適當配合，使有機廢棄物在適當之控制條件下讓其發酵腐熟，以縮短有機物分解及成爲穩定之有機質肥料所需要之時間，且能生產出品質優良適合一些作物施用之有機質肥料。

2.堆肥製造須經堆積腐熟之原因

（1）降低碳氮比

堆肥材料通常是使用碳氮比高之質材，此等質材如未腐熟之樹皮、生雞糞若

直接施用於土壤初期，將使這些廢棄物在土壤中產生分解，使微生物的繁殖生長而與作物間產生養分之競爭，尤其是氮素的攝取競爭，對作物之生長頗爲不利。經由堆積後，有機物之分解，碳氮比逐漸降低至穩定後便達到腐熟。一般而言碳氮比在 30 以下時，直接施用對作物養分之吸收並無害處。

（2）改善堆肥材料之物理性

植物性有機材料如莖稈、枯葉、稻草，大都堅硬強韌，物理性不好；動物性排泄物則味道難聞，經堆積腐熟後可變成脆細、柔軟、鬆散、味道良好，利於撒佈與土壤混合。

（3）減少有害成分

有機物分解時可能產生對作物有害物質如硫化氫、甲烷、氫氣、酚、有機酸等，對根系之發育發生障礙。若經堆積分解可減少有害成分。

（4）消滅病菌、蟲卵及雜草種子

堆肥腐熟期間溫度最高可達 65℃至 75℃，可殺死大部份病菌、蟲卵、雜草種子，以免施用時傳染給作物及土壤。

（5）增進肥效

堆肥腐熟可促進堆積材料之礦化作用，增加氮、磷之有效性。

（6）避免直接施用於土壤時產生高溫缺氧，影響作物生長。

3.堆肥製造應注意之要點

（1）場地之選擇

堆積材料及堆肥成品運搬方便，有水源。堆肥場以面向南方，溫暖和避風寒者爲佳。自製堆肥以在自家農田附近較適宜。大型堆肥場之設立應注意環保，尤其是廢水、廢氣排放問題。如果是製造商品化之有機肥料廠應辦理工廠登記。

（2）堆肥材料之選擇及調製：

① 堆肥材料應是來自取得容易，穩定，且不付出高額之收購費用者，尤其能免費獲得，更是降低堆肥生產成本之方法。

②堆肥材料之碳氮比最好調整於 20:1 至 30:1 之間，太高之碳氮比會延長腐熟時間。較低之碳氮比則可能在堆積腐熟過程造成氨的揮發損失。

③堆積之材料水分應調整爲 60% 左右。

④添加膨鬆物質如鋸木屑、稻殼、稻草等物質堆積材料中，以改善通氣效率。

⑤一般而言，堆肥材料最適之酸鹼度爲 pH7 左右。

⑥對木片、樹皮、竹類等物質應適當地切斷成薄片或鋸屑，以利微生物之發酵。

(3) 堆積及翻堆

①傳統堆積式之堆積材料比例爲約 30 平方公尺堆積 5 噸堆肥材料，用人工定期翻堆，約 1-2 星期翻堆一次。爲節省人工可用鏟土機翻堆或用輸送帶。

②可應用其他較省工之翻堆方式。

③發酵方法尚有袋裝堆肥發酵法、堆肥房配合壓縮機送風通氣發酵法、發酵槽配合自動攪拌機發酵法。

④堆積之溫度須能初期上升至 65-70℃之間，且維持此一溫度一段時間而後逐漸下降至周圍溫度，溫度上升有一定之模式，爲監測有機物之堆積是否成功之方法。

(4) 後熟

又稱二次發酵法，目的在使堆肥充分腐熟，須做水分之調節及翻堆貯藏等工作。

(5) 堆肥腐熟判斷方法

①碳氮比必須低於 20。

②總含氮量必須高於 2% (乾基)

③還原糖比率必須低於 35%

④陽離子交換能力漸趨於 100me/100 克土

⑤種子發芽試驗

堆肥愈腐熟，發芽率會愈高，發根情形愈良好。方法爲取 5 克風乾堆肥，加 100cc 60℃溫水，歷經靜置 3 小時後過濾，取濾液置於培養皿，上放一層濾紙，然後放上種子（如小松菜）測定發芽率。

⑥ 由堆肥之外觀、氣味判斷之，如腐熟良好之堆肥是中等疏鬆、黑褐色、有泥土味，酸鹼度是中性或微酸性。

本省由於畜牧業之發達，根據 1993 年之估計，本省主要禽畜糞固形物排泄量約有一千三百萬公噸，爲了處理這些畜產廢棄物，而使得很多廠商利用各種堆肥技術包括堆積式發酵法或現代發酵設備之堆肥技術，如台肥公司之利用生物反應器把適當配方比的有機質原料，在控制微生物活動的有利條件下，快速製造堆肥，從事銷售。台糖公司爲處理每年 30 萬公噸之蔗渣，亦有含添加各種成分如豬糞尿濾泥、或酒精廢醪之蔗渣有機肥商品製造。

三、微生物資材

微生物資材是土壤改良資材之一種，亦被稱之爲微生物肥料。微生物資材在日本已成每年 3 萬公噸以上之產業，在台灣則尚是起步中。惟政府已將其列入重要科技發展項目。

微生物資材之原料構成，所含之必須成分爲菌體及酵素，吸著劑，其他次要之構成成分爲肥料成分、營養源、其他成分。

微生物資材之製法有液體培養法及堆積（發酵）培養法。製法一般都關係到專利。其效果不外強調有促進有機物分解增加有機或無機養分之有效性、減輕土壤病害、土壤改良、增加土壤微生物相、促進作物生育。目前國內外市場上較具商品化之微生物肥料包括根瘤菌、菌根菌、溶磷菌、堆肥發酵菌等。

堆肥品質判定

簡宣裕、鄭智馨

行政院農業委員會農業試驗所農業化學系

堆肥品質對於作物生長與環境衛生具有舉足輕重的影響，一般言堆肥品質之判定有下列幾種較簡易的方法。

一、觀察堆肥外觀顏色與味道

腐熟的堆肥，外觀顏色爲深黑色或黑褐色，膨鬆感覺，吸水能力強，味道爲泥土味至芳香味（例如純蔗渣堆肥），不能有酸壞臭味、惡臭或濃厚的氨氣味。而發酵不良，品質不好的堆肥，通常顏色爲黃色或黃褐色。

二、種子發芽測定法（部分引用自土壤、堆肥及有機物第66頁至67頁，日本家 光協會1992年版）

5公克風乾堆肥加100毫升60℃溫水，置於200毫升燒杯內，在60℃水浴中經3小時後，以細紗布過濾，2張濾紙置於培養皿中，加入10毫升濾液，25粒白菜種子放在濾紙上面，培養皿置於25℃恒溫箱內，3天後，觀察種子發芽率以及根生長情形，另外以蒸溜水代替濾液進行試驗，做爲對照用，若試驗組的發芽率爲對照組發芽率的90%以上，且根的伸長不受抑制，則該堆肥可視爲腐熟。

三、還原醣含量

一般而言，堆肥的還原醣含量與總碳含量的百分比＜35%，則堆肥可視爲腐熟，若高於此百分比，則爲尚未穩定腐熟的堆肥。

四、濾紙擴散顯圖測定法（部分引用自 Composting of agricultural and other wastes 第67頁）

濾紙先以0.5%硝酸銀($AgNO_3$)溶液浸泡，烘乾待用。稱5公克堆肥，加入50毫升的1%氫氧化鈉(NaOH)，振盪5小時後，以3000rpm 轉速離心，用棉花蕊心浸沾上澄液，霑點於濾紙中央，依在濾紙上擴散顯圖的形狀及顏色，比照表一所列的資料，可判斷堆肥是否爲腐熟。

表一、堆肥樣品抽出液（以1% 氫氧化鈉抽出）點於濾紙上，擴散顯圖之形狀與顏色

位置	新鮮堆肥	腐熟堆肥
擴散圖中央	顏色爲白色至粉紅色	顏色爲紅色至紫色
擴散圖中間帶	形狀爲環狀	形狀爲不規則狀
擴散圖邊緣	邊緣非鋸齒狀	邊緣爲鋸齒狀

五、塑膠袋法（引用自土壤、堆肥及有機物第66頁至67 頁，日本家光協會1992年版）

適用於堆肥廠現場之簡易判定法。新鮮堆積材料含許多易被分解的有機物，經微生物與生物作用後會產生多量氣體，塑膠袋因而馬上

膨大如氣球，堆積材料愈接近腐熟則氣體產生的速度愈慢且量愈少，當然塑膠袋不會馬上鼓起來，甚至於不會鼓起來。此法可利用於以禽畜糞爲堆積材料製造堆肥時，腐熟度定性的測試，但難判定完全腐熟與否。

六、 蚯蚓法（引用自土壤、堆肥及有機物第66頁，日本家光協會1992年版）

堆肥與純水以3:2比例混合均勻後，放入1/2至2/3 杯量堆肥於黑紙罩住四周的杯子（最好500毫升以上）中，把蚯蚓置於堆肥上面，因蚯蚓有棲息於暗處之習性，若蚯蚓有往下鑽入堆肥之現象則表示堆肥已腐熟，若蚯蚓有逃避離開的反應，甚至死亡，則表示此堆肥尙未腐熟。此法適用於判斷禽畜糞堆肥是否腐熟。

七、 幼植物試驗法（引用自土壤、堆肥及有機物第67頁至68頁，日本家光協會1992年版）

設4種處理，處理A:500毫升風乾土壤裝入盆栽盆內，處理B：同處理A但加施N、P_2O_5及K_2O各35毫克，處理C:350毫升風乾土壤與 150毫升堆肥混合均勻後裝入盆栽盆內，處理D:同處理C但加施 N、P_2O_5及K_2O各35毫克。每處理3重複。盆栽盆直徑爲11.3 公分，高爲6.5公分。上述各試驗處理的盆栽土壤加入適量水分後播種 20粒小白菜種子，比較各處理的小白菜生育狀況做爲堆肥腐熟之判定依據。

八、花粉管伸長法（引用自土壤、堆肥及有機物第68頁至69頁，日本家光協會1992年版）

堆肥與純水以1:2比例混合，浸泡一夜後，用紗布搾濾出濾液，以濾液（用純水做為對照）配製培養基（含8%蔗糖、1.2%洋菜及17ppm硼酸），培養基加熱使洋菜熔解後傾倒於培養皿，待冷卻凝固後，將花粉管置于培養皿上，於25℃暗房內， 經20小時後，與對照組相互比較花粉管伸長情形。此方法在判斷樹皮堆肥是否腐熟時，常被採用。

九、 近紅外線光譜測定法（引用自Inbar等，1989）

一般而言，堆肥化過程中碳水化合物逐漸減少，但化合物的芳香基碳 (aromatic C) 與羧基 (carboxyl group) 則增加。新鮮堆積材料在波數1720cm^{-1}至1000cm^{-1}近紅外線光(infrared light)的吸光光譜形狀為許多小且尖銳(sharp)或斜肩(shoulder)吸收峰，而堆積材料愈接近腐熟則在此波數範圍內的吸光光譜形狀，吸收峰較少且平緩(leveled off)。新鮮堆積材料在波數2900cm^{-1}至2800cm^{-1}近紅外線光的吸光光譜形狀，其吸收峰的高度比腐熟堆肥者高。測定方法為：樣品以105℃烘乾後磨粉過0.25 毫公尺網目篩子，儲存於真空乾燥瓶(vacuum desiccator)，取100毫克溴化鉀(KBr)和2.4毫克粉狀樣品混合均勻，壓成餅(pellet)，置於近紅外線光吸光測定儀(infrared spectrophotometer)，用波數4000cm^{-1}至1000cm^{-1}光波掃瞄測定樣品的吸光光譜。

十、 二苯基胺(diphenylamine)呈色反應（引用自Harada，1983）

5公克牛糞堆肥放入125毫升玻璃三角瓶，加入純水50毫升，振盪3小時，以濾紙過濾，取適當濾液放入小玻璃培養皿，用吸管吸幾滴含0.012%二苯基胺之濃硫酸液，加入小培養皿內，若呈藍色反應者表示已腐熟，而新鮮牛糞則沒有藍色反應。

十一、堆肥的有機碳與氮比值及有機質含量

一般而言，腐熟堆肥的有機碳與氮比值大多低於20（但樹皮堆肥的比值可能大於20），有機質含量可以高於60%。但是，若以純雞糞製造堆肥時，因原料的有機質含量大約只有55%，故腐熟雞糞堆肥的有機質含量，極有可能低於50%。有機碳含量的測定方法如下：

（一）濕化法（部分引用自method of soil analysis part II 第570頁至571 頁，美國ASA與SSSA共同於1982出版）

試驗組，堆肥以80℃烘乾磨粉後，稱0.1公克樣品放入500毫升三角玻璃瓶，加入20毫升的0.1 N 重鉻酸鉀(K_2CrO_7)及40毫升濃硫酸，靜置過夜，200毫升純水加入三角瓶內，待三角瓶冷卻後，加入3滴*o*- phenanthroline 指示劑，然後以0.5N硫酸亞鐵($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 滴定至暗綠色。對照組，不加堆肥樣品於500毫升三角瓶內，其餘步驟同試驗組。以下列公式計算堆肥的有機碳含量（organic C，%）

有機碳(%)＝(1 N× 20毫升－硫酸亞鐵濃度× 滴定毫升）(3) (f)

f：為校正因子，大約為1.3

（二）燃燒法(McKeague，1976)

樣品先用酸處理，去除碳酸鹽，然後置於燃燒爐管，燃燒樣品，釋放出的二氧化碳(CO_2) 被吸收塔中的氫氧化鈉(NaOH)所吸收，然後反滴定氫氧化鈉的減少量，便可計算出樣品中有機碳含量。堆肥有機質含量等於有機碳含量x1.72。

十二、有毒物質及重金屬含量

美國、日本對堆肥中有機污染物的規範，只有多氯聯苯(PCB)這一項，美國規定若要施用於農田，則堆肥的多氯聯苯含量不能超過2ppm，日本的標準為堆肥的水抽出液，多氯聯苯含量，要低於0.03ppm，測定多氯聯苯是需要同時用到氣體色層分析儀(GC)與質譜儀(MS)，須由專業人員來操作。堆肥中重金屬可以容許的含量，國內

與國外的標準如表二所列。

表二、堆肥重金屬容許含量(ppm)

國家	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅	砷	鈷	鉬
美國	2-25	1000	450-1000	5-10	50-200	250-1000	900-2500			10
日本	5	(1.5)		2		(3)		50		
奧地利	4	150	400	4	100	500	1000			
比利時	5	150-200	100-500	5	50-100	600-1000	1000-1500			
哥倫比亞	2.6	210	100	0.8	50	150	315	13	26	5
意大利	10	Cr^{+3} 500 Cr^{+6} 10	600	10	200	500	2500			
荷蘭	0.7-2	200-50	25-300	0.2-2	10-50	65-200	75-900	5-25		
加拿大 Ontario	3-4	50	60-100	0.15-0.5	60	150-500	500	10-20	25	2-3
西班牙	40	750	1750		400	1200	4000			
瑞士	3	150	150	3	50	150	500		60	20
南韓	5			2		150		50		
我國垃圾堆肥	5	150	150	2	25	150	500	50		

( )：水抽出液濃度

十三、其他相關因素

(一)pH

腐熟堆肥的pH，一般接近中性（堆肥樣品與純水以1:5混合均勻），但堆肥材料中若添加雞糞，pH則有可能超過7.0，如果以純雞糞當作材料，製造堆肥時，pH可高達9.0左右。若堆肥的pH小於6.0時，此種堆肥可能是在嫌氣性條件下，進行發酵的結果，則屬於品質不好的堆肥。

(二)電導度（E.C.）

堆肥種類不一樣，電導度的測值（堆肥樣品與純水以1:5混合均勻）則差異很大，不過一般而言，純樹皮堆肥的電導度小<1dS/m，純

香菇木屑堆肥的電導度< 2.8dS/m，純金針菇木屑堆肥的電導度< 3.6dS/m，牛糞堆肥的電導度可高於3.5dS/m，純豬糞堆肥的電導度大約爲4.0dS/m至4.5dS/m，固液分離豬糞堆肥的電導度可低於2.0dS/m，在所有種類的堆肥中，電導度，以純雞糞堆肥最高，可高達11dS/m至13dS/m。要以電導度的高低來判定堆肥品質的好壞，是沒有意義的事。一般而言電導度低的堆肥，比較適合做爲作物的栽培介質使用，電導度高的堆肥則必需先和土壤或其他低電導度的材質（如蛭石，泥炭土等）混合攪拌均勻後，才能當做栽培介質使用。

(三)全氮、全磷及全鉀的含量

大致而言，以農作物殘株或廢棄物爲堆積材料所製造出來的堆肥，氮、磷及鉀的含量不高，而純禽畜糞堆肥的養分含量較高。堆肥添加其他化學肥料或材質（例如豆粕粉或肉骨粉等）的有機複合肥料或雜項有機質肥料，其養分含量遠高過於一般堆肥者。

(四)堆肥的顆粒大小及不純物含量（美國標準）

腐熟堆肥，其顆粒粒徑大小的標準，通常規定爲小於25毫公尺，不純物質（非有機物）的含量低於4.0 %。

十四、結　語

消費者在購買堆肥時，若要知道堆肥的品質，則可以參考上述的資料，來加以判定。但先決條件是堆肥產商應該在每種產品堆肥的包裝袋或廣告說明書上，詳細且誠實的敘述產品的性狀及成分，好讓堆肥消費者來判定所購買堆肥品質的好壞，以選擇符合自己需要的堆肥。

不同有機資材之分解與礦化

林毓雯　王鐘和

行政院農業委員會農業試驗所農業化學系

一、本省農民常用有機資材

目前本省農民使用在田間的有機資材種類，包括市售有機質肥料、作物殘株、綠肥、糞尿、自製的堆廄肥等。而根據肥料品目及規格表，把有機質肥料類分為大豆粕肥料、花生粕肥料、亞麻仁肥料、米糠粕肥料、雜項渣粕肥料、副產植物質肥料、乾燥菌體肥料、魚渣肥料、魚廢物加工肥料、肉渣肥料、肉骨粉肥料、生骨粉肥料、蒸製骨粉肥料、蒸製毛粉肥料、蒸製皮革粉肥料、副產動物質肥料、海鳥糞氮磷肥、禽畜糞加工肥料、禽畜糞堆肥、樹皮堆肥、混合有機質肥料、雜項有機質肥料、雜項有機液肥及垃圾堆肥等品目，因此施用到田間的有機資材種類之多可見一斑。

二、施用有機資材之作用

施用有機資材對土壤環境的影響，可分成土壤物理性、化學性及微生物三方面：

（一）改善土壤物理性

1. 增加及穩定土壤團粒，改善土壤構造，增進土壤通氣性，有助於根之穿透，使植物生長良好，且減少土壤沖蝕。
2. 有機資材分解後產生的腐植質，具有大的吸水表面積，可增加土壤保水力。
3. 腐植質使土壤顏色變暗，增進土壤吸收熱能，可增加土壤溫度。

（二）改善土壤化學性

1.有機資材中含有植物所需養分，如氮、磷、鉀、鈣、鎂等，分解後可供植物吸收，因此施用有機資材可增加土壤養分。

2.分解物如有機酸等，可溶解被土壤礦物固定的無機營養元素，增加其有效性。

3.有機資材及其分解產物可吸附養分陽離子，如鈣、鎂、鉀、銨等，提高土壤的保肥能力。

4.含有植物生長的活性物質，如維他命及荷爾蒙等，可促進植物生長。

（三）改變土壤微生物相

1.含氮素較少的腐植質可增進土壤固氮菌的作用，增加土壤中的氮素。

2.對土壤有益菌有增進時，可制衡有害菌的活動。

三、不同有機資材之分解與礦化

（一）有機資材的分解及氮素礦化作用

有機資材添加到土壤中以後，由於其含有微生物所需的營養，因此成分會隨著微生物的活動而改變。微生物繁殖時需要從有機資材中取得的養分中，以碳素及氮素最爲重要，除了用來合成微生物體之外，另一方面是供應新陳代謝所需的能量。一般微生物於繁殖個體及活動所需消耗的能量，是經由有機資材中的碳轉變爲二氧化碳而來，而作爲能源所需的碳約爲個體繁殖的兩倍，亦即合成 1 公克的微生物體，需另外消耗 2 公克的碳作爲能源，總共需要 3 公克有機資材的碳素。又以一般微生物體的碳氮比約爲 10 來看，則合成 1 公克的微生物體，需要 0.1 公克的氮素。因此，有機資材的碳氮比大約需維持在 30 以下，則其所含氮素經過微生物分解後，才可充分供給微生物生長，如果碳氮比大於 30 時，則微生物必須從環境中吸收氮素藉以合成體質（此即氮的同化作用），會造成施用初期土壤有效態氮素的下降。一般而言，當有機資材的碳氮比在 15 至 20 以下

時，經微生物分解後，能有多餘的無機氮素釋出（氮的礦化作用），可供作物吸收。

（二）有機資材的成分

由於有機資材的種類繁多，因此成分差異很大（表一至表五）。以肥料成分中的氮素含量而言，依序爲污泥、油粕類、禽畜糞及禽畜糞堆肥，作物殘株則一般含氮量較低；磷鉀含量則以禽畜糞及禽畜糞堆肥較高，其中尤以家禽糞尿含量最多，而作物殘體含量較低。若以有機資材乾物部分的組成而言，作物殘株含有較高的粗澱粉、纖維素、木質素等碳水化合物，禽畜糞及禽畜糞堆肥則含有較高的灰分（表一）。

表一、常見有機材料之成份

	全碳	全氮	C/N	灰份	粗澱粉	纖維素	木質素	粗蛋白
污泥	44.2	7.0	6.3	14.9	11.6	7.5	13.6	43.6
發酵牛糞	25.8	2.7	9.5	51.4	4.1	5.2	25.1	17.0
完熟堆肥	27.1	2.5	10.9	45.1	6.7	6.8	21.3	15.6
乾燥牛糞	30.9	2.0	15.5	39.8	10.9	15.9	17.3	12.4
中熟堆肥	31.4	2.0	16.1	37.7	7.9	13.4	25.4	12.2
樹皮堆肥	37.6	2.0	189.3	33.2	4.9	12.2	36.7	12.2
未熟堆肥	33.4	1.6	20.9	26.9	11.1	29.6	18.8	10.0
木屑堆肥	42.2	1.9	22.0	16.2	7.8	30.4	30.3	12.0
發酵製紙渣	31.0	1.1	28.5	43.3	4.2	15.7	24.2	6.8
水稻根	41.1	0.9	45.9	15.5	22.8	31.8	17.1	5.6
稻桿碎片	39.1	0.7	59.3					
稻桿粉末	39.1	0.7	60.2	12.8	25.0	37.0	11.2	4.1
稻谷殼	40.1	0.5	74.1	18.6	16.3	41.9	20.6	3.4
小麥桿	42.2	0.3	126	10.9	21.6	48.2	15.5	2.1
製紙渣	40.6	0.3	140	18.1	6.8	55.2	15.3	1.8
鋸木屑	50.4	0.2	242	1.3	10.9	48.2	30.5	1.3
試藥木質素	66.5	0.1	923					

（資料來源：洪，1995）

表二、家畜糞尿之成分

項目	水分%	有機質%	氮%	磷%	氧化鉀%
牛糞	83.5	14.6	0.27	0.15	0.05
馬糞	76.0	21.0	0.45	0.32	0.35
羊糞	65.0	30.5	0.60	0.45	0.25
豬糞	80.5	12.5	0.70	0.27	0.40
牛尿	93.5	3.2	0.60	痕跡	1.30
馬尿	89.5	6.9	1.50	痕跡	1.60
羊尿	86.5	7.5	1.90	痕跡	2.65
豬尿	98.7	1.0	0.25	0.10	0.75

（資料來源：盛，1956）

表三、家禽糞尿之成分

項目	水分%	有機質%	氮%	磷%	氧化鉀%
雞糞	56.0	25.5	1.63	1.54	0.85
鴨糞	56.0	26.3	1.00	1.40	0.62
鵝糞	73.0	13.4	0.55	0.54	0.94
鴿糞	51.0	30.8	1.76	1.78	1.00
蠶糞	60.0	30.0	1.44	0.25	1.10

（資料來源：盛，1956）

表四、各種油粕類肥料之成分

油粕	N %			P_2O_5%			K_2O%	粗脂肪%
	最多	最少	平均	最多	最少	平均	平均	平均
棉實粕	7.22	5.00	5.68	3.41	1.58	2.63	1.69	-
落花生粕	8.73	3.51	6.55	3.39	1.82	1.33	1.00	8.53
蓖麻子油粕	6.82	3.63	4.98	3.19	1.35	2.06	1.90	6.08
椰子油粕	7.95	2.23	3.14	2.26	0.64	1.33	1.99	11.27
麻實油粕	5.61	3.74	4.59	3.20	1.51	2.58	1.10	11.07
茶實粕	-	-	1.64	-	-	2.03	0.39	-
芝麻粕	-	-	4.90	-	-	2.00	0.92	-
豆麻粕	-	-	5.10	-	-	1.87	1.55	10.29
桐實粕	-	-	2.60	-	-	0.94	-	-

（資料來源：盛，1956）

表五、堆肥原料之成分（%）

名稱	水分	有機物	N	P_2O_5	K_2O	乾物質中N
水稻桿	14.3	78.6	0.63	0.11	0.85	0.735
陸稻桿	14.3	77.9	0.97	0.11	0.85	1.132
大麥桿	14.3	81.2	0.64	0.19	1.07	0.747
小麥桿	14.3	81.1	0.48	0.22	0.63	0.560
玉蜀黍桿	15.0	80.5	0.48	0.38	1.64	0.565
大豆莖	14.0	82.8	1.31	0.31	0.50	1.523
菸草莖	18.0	75.5	2.46	0.92	2.82	3.000
甘藷莖(乾)	-	-	1.18	0.51	1.28	1.388
豌豆桿	16.0	77.7	1.04	0.35	0.99	1.238
蠶豆桿	16.0	79.5	1.63	0.29	1.94	1.940
茄子莖	20.8	71.4	2.24	0.57	3.16	2.929
野草(生)	70.0	28.0	0.54	0.15	0.46	1.800
落葉(闊葉樹)	14.0	81.0	1.00	0.22	0.29	1.163
海藻(風乾物)	15.0	72.8	1.64	0.42	1.70	1.930
蠶豆莢	15.0	79.5	1.68	0.27	3.55	1.976

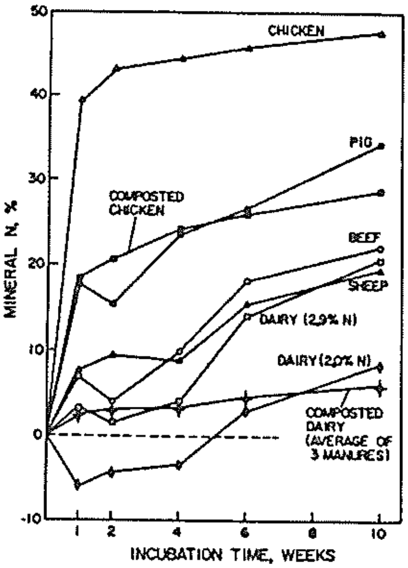
（資料來源：盛，1956）

（三）不同有機資材之分解與礦化

有機資材的分解會受許多因子的影響，包括資材本身的成分及其他環境因子如：溫度、水分、空氣、無機養分等。一般來說，在自然環境下，溫度越高分解越快；而水分是微生物生長所需的，但水分太多通常會造成通氣不良，影響好氣微生物分解有機物，因此需要有適當的水分；其次除了有機碳源外，微生物生長也需要其他無機養分，因此土壤中無機養分含量高也會加快分解速率，其中又以氮素最爲重要。

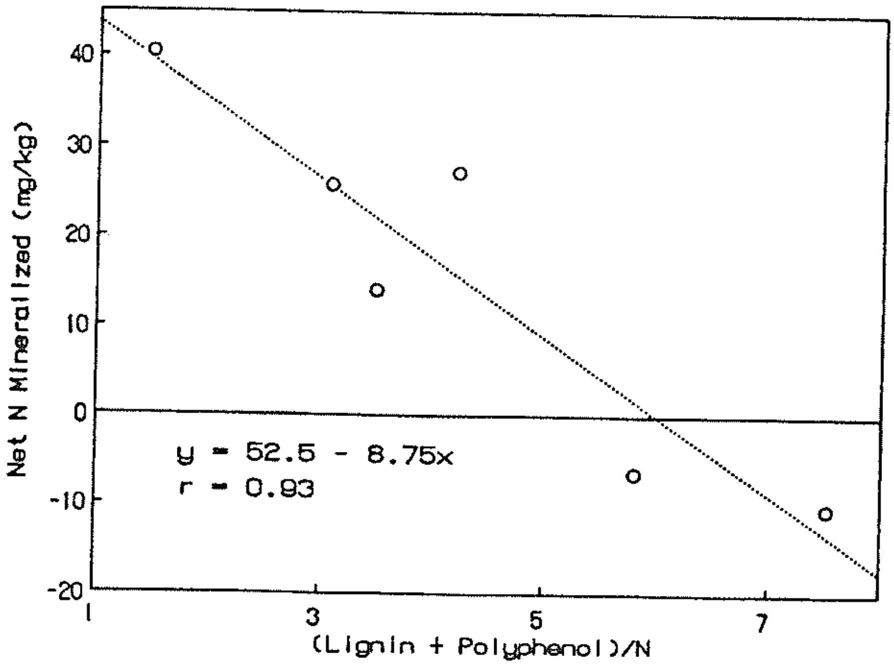
針對不同資材氮素的礦化特性，學者已經進行許多研究，結果顯示與資材的種類有關。糞尿類肥料中以新鮮糞尿比堆肥化過的易於礦化[1,5,8]，家畜糞中則以雞糞的礦化最快，其次依序爲豬糞、肉牛糞、綿羊糞、乳牛糞[5]。至於作物殘株的礦化方面，一般豆科作物無機態氮的釋出比非豆科作物快[7,12]，添加非豆科植物殘體會造成初期無機氮素的下降，豆科作物則增加氮素的礦化，礦化速率依序爲三葉草＞花生＞大豆＞燕麥＞高粱＞小麥＞玉米[12]。也有研究顯示氮素礦化速率爲雞糞＞堆肥＞稻麥桿及木屑[1]。

若對資材的成分加以分析，可發現氮素礦化特性與資材本身的組成分有相當大的關聯。由於微生物需要從資材中獲取碳及氮源以合成體質，且其體質本身的碳及氮有一定比例，因此資材的氮素含量及碳氮比，常左右資材分解過程可否有多餘的氮素釋出[1,7,8,11]，一般氮素越高及碳氮比越低者氮素越易礦化。



圖一、SanEmigdio 土壤添加不同資材後氮素礦化曲線（資料來源：Castellanos and Pratt，1981）

除了資材中的氮素含量之外，許多的研究也顯示氮素礦化與有機資材中含氮化合物的組成有很大的相關，資材中較難分解的含氮化合物量越高，則礦化速率越慢。有相當多的研究結果指出，資材中的木質素及多酚類化合物的含量，是很重要的影響成分 [4,6,9,10,13,14]，有一部分學者發現氮素的礦化（或資材的分解）和木質素含量成反比 [4]，也有發現和木質素和氮的比值 (lignin/N) 成反比 [10,13]、和木質素加多酚與氮的比值 ((lignin+polyphenol)/N)成反比 [6,9]。另外，其他較難分解的成分如蠟類、纖維素、半纖維素等，也會降低資材中氮素的礦化。



圖二、添加豆科作物 6 週後植體木質素加多酚與氮的比值對淨氮素礦化量之直線迴歸
(資料來源：Fox *et al.*，1990)

(四) 有機資材的選用

農民施用有機資材的目的各不相同，有為了增進土壤肥力，也有為了改善土壤物理性、生物性等，因此，有必要對不同有機資材的成分及分解礦化特性加以了解，以作為選用有機資材之參考。一般若為了增加土壤肥力，則應選用含肥料成分高者，如：乾燥禽畜糞、禽畜糞堆肥、綠肥、油粕等易分解的資材；若是為了改善土壤通氣、排水等物理性，則應選用含肥分少、疏鬆的資材，如：蔗渣、泥炭、樹皮堆肥等；如果是為了改善土壤的微生物相，則可視需求選用各種添加微生物菌體的有機資材，諸如添加固氮菌、溶磷菌、菌根菌等有機資材。

四、參考文獻

1. 前田乾一・志賀一一。 1978。 水田条件下における各種有機物資材の分解經過。 日本土壤肥料學雜誌。 49(6):455-460。
2. 洪崑煌。 1995。 有機物對作物生產的功能。 有機質肥料合理施用技術研討會專刊。 84 年 5 月 11-12 日，台灣，台中。 pp.59-71。
3. 盛澄淵。 1956。 肥料學。 國立編譯館。 台北。 pp.99-144。
4. Allison, F. E.(ed.). 1973. Soil organic matter and its role in crop product. Dev. Soil Sci. 3. Elsevier, Amsterdam.
5. Castellanos, J. Z. and P. F. Pratt. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:354-357.
6. Clement, A., J. K. Ladha, and F. P. Chalifour. 1995. Crop residue effects on nitrogen mineralization, microbial biomass, and rice yield in submerged soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 59(6):1595-1603.
7. Constantinides, M. and J. H. Fownes. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationshipsto nitrogen, lignin, and soluble polyphenol concentrations. Soil Biol. Biochemistry. 26(1):49-55.
8. Douglas, B. F. and F. R. Magdoff. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. J. Environ. Qual. 20:368-372.
9. Fox, R. H., R. J. K. Myers, and I. Vallis. 1990. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. Plant and Soil. 129:251-259.
10. Jerry, M. M., D. A. John, and F. M. John. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. Ecology. 63(3):621-626.
11. Norman, R. J., J. T. Gilmour, and B. R. Wells. 1990. Mineralization

of nitrogen from nitrogen-15 labeled crop residues and utilization by rice. Soil Sci. Soc. Am. J. 54(5):1351-1356.

12.Smith, S. J. and A. N. Sharpley. 1990. Soil nitrogen mineralization in the presence of surface and incorporated crop residues. Agron. J. 82(1):112-116.

13.Stump, L. M. and D. Binkley. 1993. Relationships between litter quality and nitrogen availability in Rocky Mountain forests. Can. J. Forest Res. 23(3):492-502.

14.Vallis, I. and R. J. Jones. Net mineralization of nitrogen in leaves and leaf litter of *Desmodium intortum* and *Phaseolus atropurpureus* mixed with soil. Soil Biol. Biochemistry. 5:391-398.

有機質肥料在水稻栽培上之施用技術

黃山內　林晉卿

台南區農業改良場

一、　前言

水稻是好水耐熱並能提供豐富熱能的糧食作物，台灣位處亞熱帶地區，年平均溫度高於20度，年平均雨量在2,000公釐以上，故水稻栽培在台灣的農業生產上有其重要地位，爲其他農作物所不能替代。台灣稻作栽培面積曾高達每年75-80萬公頃，民國六十八年以後逐漸下降，目前僅爲36萬公頃。稻米產量與年需求量160萬公噸比較，產銷已趨於平衡。水稻田另有保護生態環境的效果，包括：涵養地下水源、調蓄暴雨洪水機能、安定河川流況、降低下游排水流量、淨化水質、防止土壤沖蝕、調節微氣候、洗除土壤鹽分、及提供水鳥庇護、繁殖、覓食場所等，而面積廣闊的水田，對空氣濕度和溫度也有調節作用。然稻田耕作亦有其負面效果，如肥料、農藥的大量不當施用，促使溫室氣體（如甲烷、氧化亞氮等）的生成，及與其他產業競爭水資源的分配。

近年來稻作生產技術已有長足的進步，包括1.稻作品種改良—如抗蟲病害品種、良質米品種、抗旱性品種、產量穩定品種等。2.稻作栽培技術改進，包括(1)耕種技術及施肥技術改進：如良種繁殖制度之建立、稻種消毒、種植期調整、殺草劑使用、正條密植及寬行密植、宿根再生栽培技術的改良、直播栽培技術的建立、緩效性肥料問世、以及側條施肥機與深層施肥機的開發。(2)病蟲害防治技術改進，分別有藥劑防治與生物防治兩方面。(3)機械化栽培：水田整地、插秧、收穫的機械化

已達 98%，可有效解決農村勞力不足的問題，並降低稻米生產成本。此外，新技術的研發，如利用鍾刀式割草機及中耕機附掛再生稻割椿機之研製，改進大面積水稻再生栽培技術，水稻插秧兼深層施肥機之改良，節省肥料及人工等。3.稻米收穫後處理技術之提升，包括稻穀倉儲加工自動化處理，乾燥、倉儲及加工、分級技術等的加強。由於水稻生產技術不斷的改進，使得台灣地區日趨老化的農村結構，維持著一定的水稻栽培面積。

目前因應農業政策的變更，稻米進口勢難抵擋，稻穀保證收購價格勢必退讓，然農糧爲國防要件之一，稻米必定不得放棄生產；而台灣水資源分布不均，旱澇常害，水稻生產第一期作，氣候適合，產量較高，然經常遇乾旱缺水，第二期作雖無缺水之慮，且有蓄洪、補助地下水之功能，但因氣候因素，產量較差。諸如此等，如何從中取得平衡？爲兼顧環境的保護及時代的趨勢，稻米生產策略必須作某些調適，如 1.擴展稻米的用途（增加高品質稻米及米食加工品）。2.生產上的改良：(1)省水(2)省工(3)少用農藥。3.生產上的調整：(1)注重政策性的生產調整(2)強化氣象預測能力，用於擬定稻米生產計畫(3)轉作及休耕地應予妥善保養，維持生產水稻的潛能。

此外，輪作栽培有利於土壤肥力之平衡，間作栽培可用作爲減少主作物病蟲害、雜草等的手段。在講求生態平衡的前提下，來規劃農地長程的利用，如此作物生產量，或許不如現代化學性農法，但其因優良的產品品質而獲致利潤的提高，將可補償其產量之損失。水稻的栽培方法非常簡單，不一定要使用化學肥料和化學農藥來生產，因此水稻推行有機栽培，不但可以兼顧生產、稻米品質，也可維護稻田的環境生態。

稻田於地力及生產條件優良的地區，維護其生產；生產力偏低或品質較差的地區，辦理生態、地力維護，以供必要時，即可恢復農業生產。並配合各地區水源狀況與生產條件，訂定未來水旱田輪作模式，以稻米及地區性農特產互相輪作，以確

保我們的糧食並淨化我們的環境。

二、台灣的水田土壤

(一)台灣水田土壤的生成、種類及其分佈

影響水田土壤生成較重要的因子除時間、氣候外，以地形及母質爲主要。台灣水稻田土壤的環境相當複雜，就地形而言有溪流、階段、盆地、沖積平原及沖積平原與斜坡地開發成之梯田；就母質而言有砂岩頁岩質、粘板岩質、片岩及片麻岩質、安山岩質、泥岩海積物與更新世或較老之紅壤。

臺灣的水田土壤可以概分爲下列六類：

1.紅壤：紅壤本是高溫多雨環境下的產物，質地粘重，臺灣紅壤中二氧化矽之含量相當高，在 70%以上，鹽基幾已完全流失。大致可分爲分佈於山麓地方的「幼紅壤」及自台北之觀音山以南至民雄附近，間或至鳳山、恆春等台地之「老紅壤」。

2.砂岩、頁岩質沖積土：砂岩、頁岩質之沖積土，自北而南遍佈於臺灣本島的西側。北部之砂岩、頁岩質沖積土與南部性質相異，北部之岩石係在淺海構成，組織粗疏，含鹽基甚少，故所成之沖積土，質地較粗，多爲砂質土壤，反應爲酸性；南部之岩石屬泥岩，組織甚細，且含多量之鹽基，故所成之沖積土，質地較重，多爲粘質壤土，土壤反應自微酸性至微鹼性，砂岩、頁岩質沖積土在臺灣的面積最廣，是主要的稻作土壤。

3.粘板岩質沖積土：粘板岩沖積土土壤呈深灰黑色，質地粘重，屬於粘質壤土、坋質粘壤土及壤質粘土，鹽基飽和，反應爲中性及鹼性，石灰及鎂之含量甚高，粘板岩沖積土是臺灣最肥沃的沖積土，此種土壤分佈區域有三：即彰化濁水平原、宜蘭平原及屏東平原。

4.片岩質沖積土：花蓮平野及東部山谷間之土壤屬之。除花蓮、臺東平野外，分佈面積甚為狹小，土質以砂土、壤土為主，土壤中石灰含量甚多。

5.鹽漬沖積土：臺灣的鹽漬沖積土，以鹽土為主，大都因海水侵入而成。土壤反應大都在 pH7.5 至 8.0，分佈於臺南、嘉義沿海一帶。

(二)水田土壤的特性

1.pH 之改變：土壤浸水之後，pH 在酸性土壤中通常上升，而在鹼性土壤中則下降，4 到 12 週後，大部份土壤 pH 達 6.5~7.0。浸水土壤之 pH 變動對水稻田會造成如下幾個影響

(1)對植物吸收營養元素之直接影響：植物之吸收陽離子，達到最高量之 pH 範圍為 5 至 7，但對陰離子之吸收，則在超過 pH6 時即減少。

(2)對營養元素及毒害物質之濃度的影響：pH 值對於浸水土壤中之鐵、錳、鋁之濃度有直接影響。除某些酸性硫酸鹽土壤外，在浸水數週後，pH 值提高，鋁之毒害隨之消失。CO_2 及有機酸在低 pH 時比高 pH 毒性更顯著，浸水可減輕其毒害。

(3)對土壤溶液化學平衡之影響：酸性土 pH 之提高或石灰質土與鹼土 pH 之降低，能促進浸水土壤中磷之溶解度，一個浸水土壤之 pH 增高，會降低鎂、鈣及錳離子之濃度，當土壤浸水後，水溶性鋅與銅之濃度降低，而鉬之濃度增高。

(4)對微生物活動的影響：在浸水土壤中，有機質之分解，主由嫌氣性細菌之作用，其功能以接近中性時為最大。因浸水引起酸性土之 pH 提高，促進微生物硫酸根還原反應的進行，會導致含硫酸根離子土壤的硫欠缺。

(5)對水稻的關連：水稻生長最適的 pH 約為 6.6，在此 pH 時，微生物釋放有機質中之氮與磷均最高，銅、鋅、鉬

之釋放亦較多，毒害物質(鐵、錳、鋁、CO_2及有機酸等)會降低到毒害限度之下。但是脫氮作用及硫酸根還原作用，在此 pH 時比低 pH 更厲害。土壤浸水的實用管理上，應在種植時使其 pH 達到 6.6，對於石灰質土或鹼土中時，可於移植至少兩週前，施用有機質於浸水土壤中以促成之。

2.氧化還原電位之降低：好氣狀態之土壤浸水後，氧化還原電位逐漸降低，殘留氧之還原首先發生。而在中性土中，其次為硝酸鹽之還原，再其次為錳；在酸性土中，則錳先被還原，再次為硝酸鹽。以後二價鐵可能出現，更後是硫化物，甚至於氫氣以及甲烷。

3.氧化缺乏：水稻在氧氣極端缺乏時仍能發芽，氧氣不足且有利於幼芽之伸長，但對幼根則有阻止伸長之作用。

4.二氧化碳之過量：過量之二氧化碳對植物有害。水稻土壤中二氧化碳之濃度，平均為 5%，故不致發生毒害。但施用多量有機肥之水田，在有機物分解之初期可能產生多量之二氧化碳，致為害水稻。以綠肥作物為水田肥料，其量過多，每有毒害，二氧化碳之積聚，可能為其原因之一。

5.可溶性鐵之增加：水田中可溶性鐵之濃度高於旱田。在一定限度內，可溶性鐵對水稻之生長有利，但過多之鐵足以引起病象。在還原性土壤中，二價鐵之濃度遠超過錳；而鐵之毒害與鉀之缺乏，在禾本科植物中常相共存。

6.可溶性錳之增加：土壤經浸水以後，錳之溶解度增加，在一定限度以內對水稻的生長應屬有利。水稻因錳缺乏或過多均會導致減產，經多年耕作之水田，土壤中之錳因浸水而還原，並多量流失而沉積於下層。

7.硫化物之毒害：在浸水 4 至 6 週以內，硫酸根離子還原成硫化氫，如土壤含硫酸根離子甚低，硫之欠缺可能會出現，尤其是以尿素作氮肥時。在水田中，如有多量鐵存在，

則硫化氫會與鐵化合而成溶解度極小之硫化鐵，不足為害；惟在缺鐵之土壤，硫化氫在土壤中積聚至發生毒害。水稻受硫化氫毒害以後，可能因呼吸作用受阻，妨礙稻根之吸收養分，鉀與矽之吸收減少，而易受稻熱病之侵害。硫化氫也可能降低銅與鋅之有效度。硫化氫在旱田中，其量至微。

8.有效性矽之增加：浸水土壤中矽之有效性較高，土壤 pH 之增高，使得土壤溶液中水溶性矽量之增加。矽之吸收量增加對水稻之生長確屬有利。

9.無機氮之變化：水田土壤，由於淹水，氧的擴散受阻，整個土體可能是還原性的，但有兩個氧化性區域，一個是水土交界面的氧化層，另一個是根與土壤的交界面，造成水田土壤的氮素循環比一般土壤複雜。水田土壤中，氨的揮發，除取決於土壤因子和大氣因子，也與水層的許多特性有關，如水層的 pH 值、CO_2 分壓、氨的濃度、鹽基總量、pH 緩衝性、水溫、水的流動狀況、水深、藻類生長情況、含磷量等，水層和大氣性質的影響更強於土壤性質的影響。水田土壤中硝態氮消失，亞硝態氮產生，銨態氮積聚，硝態氮肥效不及銨態氮。水田土壤的脫氮損失、淋溶損失較大，氮素的淋失在水田高於旱田。於浸水狀態，有機氮的礦化速度較慢，硝酸還原作用比旱地有利，此有利於氮素累積。

10.有機質之嫌氣性分解：有機肥對水田之利益有三方面：(1)供給植物營養分，其中以氮為主(2)改良構造(3)促進根部之通氣。然則水田施用有機肥亦可能有缺點 (1)促進脫氮作用(2)可能使水稻受丁酸及二氧化碳之害(3)產生多量之有毒還原產物，例如二價鐵及錳離子等。

11.磷酸鹽溶解度之增加：土壤經浸水之後，其磷酸之有效性增加。

簡言之，稻田浸水之肥力益處包括：(1)增加氮、磷、鉀、

鐵、錳、鉬之供量(2)降低錳及鋁之毒害。其不利影響為(1)氮依脫氮作用而損失(2)減低硫、銅、鋅之有效度(3)產生某些妨礙作物吸收養分或直接對作物發生毒害之物質。

三、有機質肥料的功能、種類與特性

土壤有機物擔任多種土壤中活的角色(1)具植物養分吸持力。(2)具鉗制與供應植物養分特別是微量要素之"鉗狀"型態。(3)具有水分與養分緩衝能力，調整土壤溶液之酸鹼性。(4)分解可供給植物養分，且經由微生物，合成生長調節劑、抗生劑。(5)提供微生物生活物質。(6)改善土壤結構及耕犂性。

(一)有機質肥料的來源種類大致可分為

1.綠肥之栽培：

大部分綠肥作物可藉與土壤微生物之共生作用，固定空氣氮素，掩埋時因其碳氮比又低，是一種潛在相當高效率之氮源，具有固定土壤與覆蓋土表之功用，且免除運費與施用費之開支，並幫助消除病蟲害與雜草。好的綠肥作物應具備生長期間短，快速及高養分之累積能力，能忍受遮蔭，耐浸水，不怕乾旱，溫度，累積氮素量高，抗病蟲能力強，容易掩埋，掩埋後分解快，可產生多量之種子，且種子之發芽力要高。水生綠肥如滿江紅放養於水田裡，不佔耕地而能充分利用自然資源，累積大量氮素和生物量，今日又重新引起重視。

2.作物殘體：

作物的殘體包含藁桿、殘椿、根部等。稻藁之植物養分含量並不高，其含氮量從 0.4~1.1%、磷 0.02~0.17%、鉀 1.1~3.7%、含矽 3.5~6.6%，稻藁含有豐富的鉀與矽，值得回歸利用。碳氮比約為 51，木質部含量為 7.7%。水稻田因浸水還原，有機物分解較慢，故在兩期稻作下，因留在土壤中的根與莖基每公頃約有 5~10 噸，土壤有機質含量已可維持不減，若另將地上物回歸土壤，則尚可增加土壤有機質含量；反之

以水旱或旱作輪作，則即使地上部作物殘株回歸土壤的乾物量每公頃在 9 噸左右，土壤有機質仍將逐年漸減。

3.動物排泄物：

動物排泄物的量，在台灣相當的龐大，是一種容易分解且含多量植物養分之有機物，可以當作有機肥料使用。因可溶性鹽含量高，使用上應特別注意。禽畜糞直接施用於土，可能有環境衛生、臭味問題，或造成土壤局部缺氧、還原性太高、土壤溫度昇高，或釋出有毒的物質，而影響作物生長及環境衛生的安全，且存於農畜產廢棄物中之病菌、害蟲，有的會影響種子萌芽、使作物病害發生的機率增加，或造成人、畜的感染，故使用上以採取經發酵過程製成之堆肥，較爲合乎衛生安全。最近因這些排泄物或排泄物堆肥，爲了特殊目的在生產前後，曾被加入一些外來物質，所以還要注意這些添加物的存在量是否會引起毒害或污染等問題。

4.工業廢棄物與副產品：

工業廢棄物與副產品包括蔗糖廢棄物與其副產品、稻殼、味素及啤酒廠副產品、及其他食品廠之副產有機物如茶渣、油粕、魚骨粉等。稻殼是一種極耐抗分解且養分低之有機物，碳氮比 91，富含矽，可高達 14.5%，體積龐大膨鬆，可當作土壤改良劑。

5.都市廢棄有機物：

一般先進國家已將都市有機廢棄物于以分類並堆肥化。都市廢棄物包括有機物垃圾堆肥與污水處理廠產生之污泥，使用上應注意寄生蟲之傳染及重金屬之累積問題。

6.生物性肥料：

主要利用某些微生物能固定空氣中之游離氮素，或能溶解利用土壤中無效性植物養分的功用。目前較廣爲農民應用的有固氮菌、溶磷菌及菌根菌等。

有機質材料因種類不同，而其無機成分含量及其他物理化學與生物性都有很大的差別。遭受污染較爲嚴重之材料，仍以

不使用於農作物栽培為宜。

(二)影響有機質肥料在土壤中分解的因素

影響有機質肥料在土壤中分解速度的因素，包括：(1)有機添加物本身的化學性質(2)週圍環境的物理與化學狀況(3)溫度(4)氧氣的供應量(5)濕度(6)pH(7)有效態的礦物質量(8)植物殘體的碳氮比 (C/N) (9)有機添加物原有的分解與狀況等等。所添加之有機物質，C/N 的比值必須合適，如果氮素的含量夠，則分解的速率可以提高，反之氮含量不足，則碳素礦化時，必須藉助外在的氮源，自然易影響其分解速率。如果在添加缺氮的有機物質(如稻稈)，也同時補充含氮化合物，則可促進其分解速率。動物排泄物、肉骨粉、魚雜粉、豆粕等，其碳氮比都較低，施用後分解率快肥效快，其他如作物殘體之 C/N 大，分解慢，且易奪取土壤氮而造成缺氮現象。

施用新鮮有機物時需留意兩個問題：(1)新鮮材料之碳氮比較高，在土壤中分解初期易引起作物缺氮(2)新鮮材料在分解初期之中間產物之毒害。因此一般新鮮材料必需堆置一段時間，或於作物種植前 20~30 天施入土中，並保持適當水分狀態，使其進行發酵，消除可能有害的中間代謝產物，同時也降低碳氮比，若施用碳氮比甚高的資材，尚須在基肥時增施氮肥。

因有機質肥料的養分釋出，需經土壤微生物分解，故就相同要素養分的施用量而言，有機質肥料所表現的肥效在施肥當作，常較化學肥料為低。因此以碳氮比較高、分解率較低之有機質肥料連續每作施用時，其一時未能分解之有機質會累積，但隨時間亦會陸續分解，釋出養分。因此連年施用機質肥料時，亦要評估土壤中有機質肥料的殘留肥效。

不同有機資材對作物之氮素肥效，因其分解之難易程度，及碳氮比與含氮率之不同而互異。對一期作水稻而言，在同為 130 公斤施氮總量下，各有機肥料之氮素肥效為油粕類>化學肥料>禽類堆肥>樹皮堆肥。

四、有機質肥料在水稻栽培上之施用

(一)水稻田的施肥原則

每公頃生產 7 公噸稻穀，氮、磷酐、氧化鉀需要吸收的量，分別為 98、55、92 公斤/公頃。水稻達成高產與優良品質之重要因素為每平方公尺穗數，每穗粒數，稔實率與千粒重，全都受植物養分供應之影響。穗數決定於生育初期，每穗粒數與稔實率則是相對的，幼穗形成期之氮素過多，粒數則多，但稔實率反而減少，千粒重則視後期植物養分之供應情形。故水稻的施肥原則，即在使各個生育期能供應適當的養分。

二期作時，氣象因素造成水稻分蘗的減少，穗數無法提高，千粒重下降。如果成熟期時的溫度高，晴天日數多，則可提高二期作產量，因此分別育成適應於各地區二期作的品種為根本解決的方法。但若欲以栽培管理來改善，如穗數減少，可改用旱秧田育苗，密植或 5-7 本植。穎花數及千粒重的減少，可用多次施肥法補救，惟有稔實率的降低主要由抽穗時下雨或陰天所致，恐難加以改善。

晒田至高張力有助於提高水稻根系活性，但可能因而增加後期對氮素的吸收，以致於有提高蛋白質及降低顆粒澱粉含量之趨勢。故高張力晒田必需配合氮肥減施策略。

二期作水稻於正常田、強酸性土以分蘗期及後期(幼穗形成期、孕穗期)施重氮較為重要，水稻初期吸肥緩慢，肥培要點在後期之稔實率與千粒重之提高；排水不良田及鹼性土因其 pH 較高，以多量基肥耕入土中或深施為宜，可減少氮之揮失。一期作水稻，以基肥 60%(耕入)，穗肥 40%或基肥 60%(深施)，穗肥(視實際稻株生長勢調節施肥量及施用期)為宜。

(二)水稻田有機質肥料的施用

在水田缺氧的環境中，有機碳化物只能進行不完全的代謝，因此常有大量的中間產物與甲烷、氫等還原性廢氣釋出。在水稻田較深層的泥濘環境中，有機物質轉變幾乎完全是在無

氧下進行。有機酸更易於產生與堆積。

以微生物的消長來看，當幼嫩多汁的綠肥作物被犁入土壤中時，細菌的數目將會急劇地增加，土壤原生動物的數目，也會有類似的上昇，綠肥植物殘體的添加，對放線菌與真菌菌數的增加，影響力似乎很小。如果加入土壤的是成熟作物的殘體如稻稈，因之而生的微生物菌群，以真菌類的增加量最顯著，但細菌與放線菌的數量也一樣會提高。單醣分子或其它簡單糖類最有利於細菌的繁殖，澱粉最易刺激放射菌的增加，纖維質則特別會影響真菌的發展。富於蛋白質或胺基酸的有機物質，可刺激具有產生芽胞能力的桿菌繁殖。

有機物的適當施用量必須依其養分釋放特性、作物需肥量、環境維護及投資報酬率來決定。從投資報酬率來看，水稻栽培幾無施用有機質肥料之誘因。而又由前人之研究得知，水田在施用化學肥料之外，若再加施適量有機物，增產效果不如旱田作物。故爲維持水田之有機質含量，推廣農民以聯合收穫機將稻草切碎犁入土中，以做爲土壤有機質之來源並循環利用其養分，較爲可行。

過量施用石灰質材，將造成土壤有機質大量被分解，土壤變硬，爲減少施用中和劑的副作用，應配合施用有機質肥料。選擇適合應用之堆肥，首先要了解各種堆肥的原料、養分含量、腐熟度、經濟效益等原則。糞便類要注意是否含病菌，或因分解甚快而污染環境。菇類太空包堆肥要注意是否腐熟，及是否含不良病菌或有毒酚類物質，任何有機質材有其優點及缺點，以能發揮其優點及減少其缺點爲宜。施用有機質肥料搭配化學肥料時，要知道增那一種養分來搭配。此外，亦須應用土壤速測，定期診斷土壤養分狀況，以便修正施肥措施。對於生育期短的水稻品種，氮素全以緩效性肥料施用，恐無法充分供應作物生育初期所需。水田之化學氮肥的半量可以用堆肥來取代，而不影響產量或有增產效果。

(三)有機米的栽培

1.地力培養

每期作由稻田生產之稻稈於收穫時即將其剪斷均勻撒佈田間，並於二期作收穫後種植豆科綠肥，並加施穀殼翻犁至土壤中，以增進稻田之有機質含量，並提供部分氮、鉀、矽等養分元素之供源。於附近地區畜牧場容易取得之有機物如牛糞、雞糞、豬糞、穀殼等爲腐熟堆肥之材料，製造有機質肥料，並以堆肥撒佈機施用。

2.雜草防除

利用綠肥輪作、施用穀殼及人工等方法，並配合適當水分管理，可以抑制雜草的發生。稻殼覆蓋防除雜草技術：於插秧前力求整地平整，插秧後秧苗挺直時，每公頃覆蓋約 4 噸稻殼，並進行淹水處理，可防除大部分的雜草。

3.肥培管理

(1)種植豆科綠肥

第一期作在水稻收穫前 7~10 天，第二期作在水稻收穫後將綠肥種子撒播田間；綠肥種類夏季爲田菁、太陽麻，秋冬季爲青皮豆、烏豆、埃及三葉草、紫雲英，其播種量每公頃爲 20~50 公斤，可增加土壤有效性氮及有機質，並抑制病蟲及雜草發生。

(2)有機質資材之使用

A.植物性資材

稻稈：收穫時每公頃稻稈約有 5 公噸，以聯合收穫機加掛之切割裝置，將稻草切成 2 至 3 寸均勻撒施田間，經曝曬數日後即可翻犁掩埋至土中，可以改善土壤物理性質，並提供土壤碳源及部分氮、磷、鉀之營養元素。

穀殼：爲碾米之副產物，每公頃產量 1 公噸，質地疏鬆富含矽、鉀，掩埋可改善土壤物理性及防止雜草發生。

豆粕：有效性氮、磷酐及氧化鉀含量較高，本品多爲新鮮材質，應提早施用。

菜籽粕：爲中部地區水稻有機栽培之主要使用肥料，其推薦量每公頃爲 4,000 公斤，1/2 當基肥使用，約於整地前 10 天施用，1/4 做爲追肥，1/4 做爲穗肥使用，一期作約於幼穗形成前 8-10 天，二期作約於幼穗形成前 6-8 天施用最爲適當。

苦茶粕：使用在水稻有機栽培，防除福壽螺效果非常好，防治福壽螺時，土壤中的其他生物如水蛭、蚯蚓等亦會致死，因此施用時不宜過量，每公頃以 50-100 公斤爲原則，水稻插秧後於田埂四周均勻撒佈。

B.腐熟禽畜糞堆肥

雞糞堆肥：每公頃施用 5 公噸，可爲水稻生育早、中期三要素主要之供源。

牛糞堆肥：每公頃施用 10-15 公噸，可爲水稻生育中、後期氮素及鉀肥之供源。

豬糞堆肥：每公頃施用 8-10 公噸，分解供肥速度中等，可供中、後期水稻生育所需養分。

C.矽酸爐渣

土壤有效性矽含量低於 40ppm 之農田，每公頃施用 2~3 公噸，可提供水稻植株所需之鈣及矽元素，使葉片直立，提高光合作用率，增強稻株抗倒伏性與稻熱病、白葉枯病之抗病性。

D.資材施用

有機質肥料及矽酸爐渣體積龐大、人工撒施不容易，必需以堆肥撒佈機於整地前施入田間，機械化可減輕人力負擔。有機質肥料應避免於幼穗形成期後再施用，以免於穀粒充實期間，有過量的氮素供應，不僅使稻株易於倒伏，亦會提高穀粒中的粗蛋白質含量，不利

於稻米品質。

稻熱病是在水稻肥份吸收過量及土壤中矽含量太低的情況下發生，一般土壤中矽含量，應維持在 15ppm 以上，胡麻葉枯病是在稻株缺肥及土壤中矽含量太低的情況下，較容易發生，土壤中有充足的矽含量及避免施用過量的氮素，均可有效降低白葉枯病的發生。水稻有機栽培需留意適量有機質肥料的施用，及補充土壤中充足的矽含量。

目前水稻有機栽培如何降低生產成本，利用生物科技，加強企業化經營，建立地方品質，以塑造本地區有機產品之形象，是爲重要的課題。

五、結語

提高水稻單位面積產量必須從品種、栽培技術、土壤條件及氣候因子等方面共同考量。而爲培育土壤永續生產力，則須研究如何以最經濟的方法來維持或增加土壤有機質含量。有機廢棄物如果任意棄置，不僅污染環境，亦是一種資源浪費，若回歸到土壤，不僅可改善土壤性質，提高土壤生產力，亦可協助解決廢棄物污染問題。然有機物用於水稻生產必須考慮合理施用量的問題，以免影響作物產量和品質。因此必須分別從土壤改良、養分供應、環境維護及有機廢棄物處理等方面共同考量。有機肥的養分釋放曲線需配合水稻生長所需，若有機肥三要素比例不適合作物要素需求或土壤之肥力狀況，可能影響產量和品質，因此要加以調配或配合化學肥料施用。

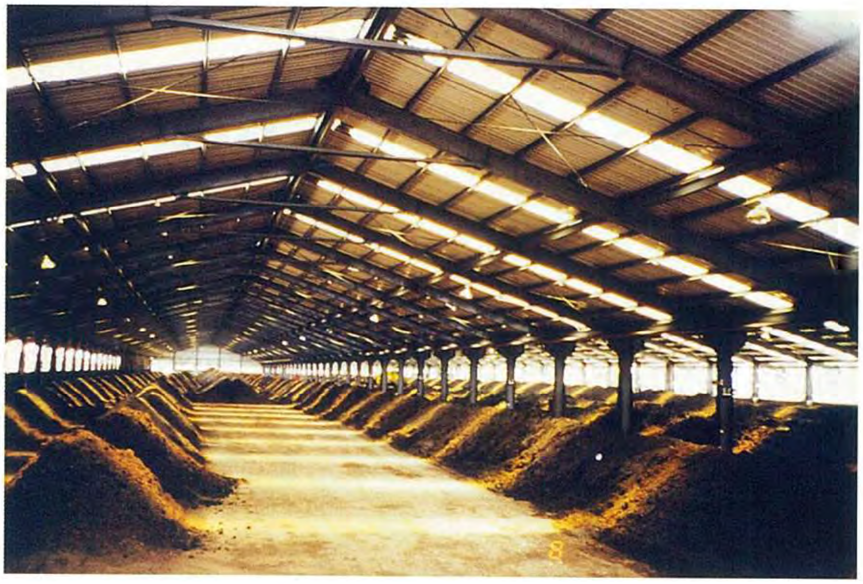
爲追求農業永續經營，除了使用有機資材充當作物營養，且用以改善土壤的物理性、化學性，促進微生物族群繁殖外，也講求利用作物與作物之耕作體制，例如多作、間作及混作等之集約栽培。主要係利用不同作物間對於不同生長因素的配合利用，並期有病蟲生物防治與忌避驅隔之功用。稻田的糊仔及間作栽培有：一期作水稻與甘藷、瓜類、毛豆、甘蔗、茭白、

葡萄等間作，以及二期作水稻與豌豆、大豆、番茄、馬鈴薯、葉菜類等間作。今後農作物栽培希望能在生態平衡的前提下，來長程規劃農地之利用，藉由輪作、混作及間作制度之精密控制，允許作物、土壤、昆蟲、微生物……等等之自然消長，達到永續生產的目的。

]片一
焚燒稻草造成空氣
污染

相片二
稻草切碎直接回歸
農田可提供土壤有
機質及其它養分

片三
菁掩埋可提供氮
0.47%、磷酐
2%、氧化鉀
2%及多種植物
分



相片四
大型農畜廢棄物資源處理中心（以動物排泄物混合廢棄太空包製成堆肥）

相片五
水稻田施用穀殼可改善土壤物理性並防治雜草

相片六
朴子市水稻有機栽培示範觀摩

有機質肥料在蔬菜栽培上之施用技術

王鐘和　林毓雯　林木連　丘麗蓉

行政院農業委員會農業試驗所農業化學系

一、前言

隨著我國經濟快速成長，國民生活水準大幅提升，對均衡之營養和飲食衛生安全較已往講究，蔬菜為佐餐所必須，有時甚至成為主食，據統計，台灣地區蔬菜年產量約達 300 萬公噸，產值約新台幣 1,728 億元，國人每人之蔬菜年平均消費數量達 130 公斤左右(民國 85 年)，因此生產安全、高品質之蔬菜，不僅是農政單位重要的工作項目，更是一般民眾所殷切期盼。適宜平衡之施肥，可以保持蔬菜有良好之營養狀態，獲得較佳的品質。

不同蔬菜種類的要素需求量不同，且不同生長階段的蔬菜對營養元素的需求亦異。此外，設施內、露地及高冷地蔬菜生育之環境亦不相同，如何有效合理的施用肥料，使蔬菜生長快速，生育強健，增強抗病能力，提高蔬菜單位面積的產量及品質，達到既不浪費肥料資源且兼顧環境生態保護。則為蔬菜栽培者及相關農政及研究人員努力的目標。

有機質肥料之功能甚多；諸如：改善土壤物理性；包括增進土壤團粒構造、保水力、通氣性、調節土壤溫度、降低總體密度及土壤流失等。對土壤化學性亦有助益；包括提高陽離子交換能量、增加營養分儲存能力、較大緩衝能力等。此外，並可使土壤微生物相多樣化，微生物活性增加，減少病原菌生長。因此普遍地被施用於蔬菜栽培上，藉以改善蔬菜園土壤之理化及生物性質，提高蔬菜產量與品質。

二、蔬菜園施肥之原則

作物之生長發育受到先天遺傳特性及生長環境中各種因子之影響，因此，在施用肥料時,自然必須考量各項影響因子諸如：1.品種之特性，2.氣候因素（日照、雨量、溫度等），3.土壤環境，4.栽培管理，5.肥料種類，6.施肥方法等。以下文章不就個別蔬菜之施肥方式介紹，僅介紹幾項影響蔬菜肥料施用之重要因素：

(一)不同種類蔬菜之施肥

1、不同種類蔬菜之需肥特性

一般而言，蔬菜生長期間較短(尤其是葉菜類)，在短期間要吸收大量營養元素，生產大量物質，適當充足的供給肥料是必要的手段(圖 1)。瞭解不同種類蔬菜之生育及養分吸收特性，參酌栽培地之氣候及土壤條件，配合栽培管理措施，適時、適量的供給肥料，可獲較佳的產量及品質。蔬菜各生育期間養分吸收情形因種類不同而異，其情形如圖 2。

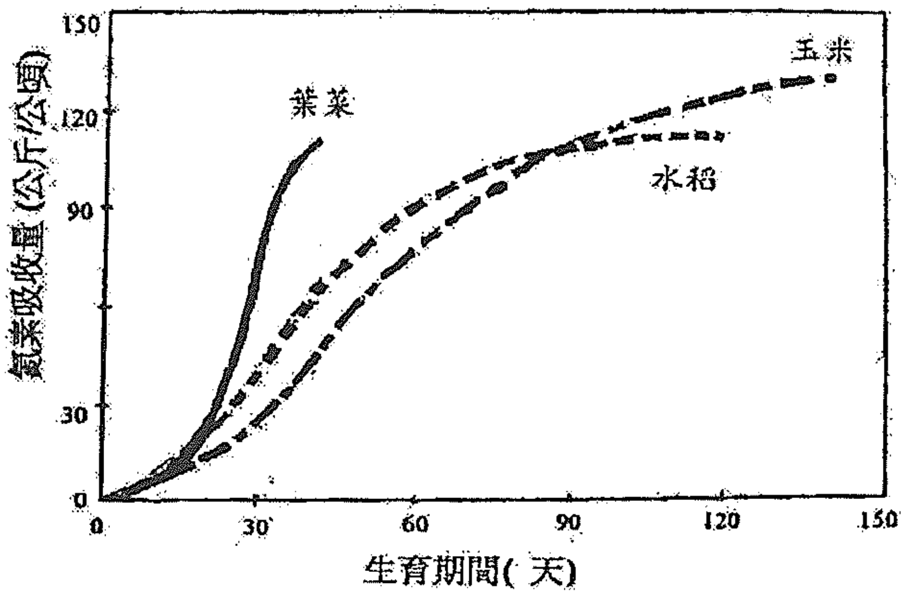


圖 1. 葉菜、水稻及玉米生育過程累積氮素吸收量之比較

參考前台灣省政府農林廳編印之作物施肥手冊中各類蔬菜之施肥方法)。栽培有機蔬菜時則完全施用有機質肥料為基肥及追肥。

（二）石灰資材之施用

土壤中之各種植物養分要素，依個別要素性質之差異，在不同酸性下或變為不溶性或大量溶解，以致酸性土壤中有些要素缺乏，但有些要素卻有過剩之障礙。土壤酸性增加時，養分保持能力隨著鹽基置換性能量減少而降低，故酸性土壤之施肥易導致鹽害，也易導致養分之流失。因此，必須適度施用石灰資材調整土壤 pH 值，才能發揮肥料施用之增產效果。

各種作物所適合的土壤 pH 值範圍因作物之耐酸性不同而有所差異。由於酸性土壤之作物生育阻礙要因有鋁、錳毒害，低磷、低鹽基及低微量要素等多種，而不同土壤的酸性阻礙要因亦各有不同，作物本身對此等阻礙的耐性亦有差異，故各種文獻所報告之作物酸性耐度亦略有差異，但大致如表一。可見一般蔬菜作物之酸性耐度弱，雜糧作物次之，而鳳梨、杜鵑、水稻及一些禾本科草類則強。耐酸性極弱的作物在酸性土壤生育極為不良，生長所適合的土壤 pH 值亦相對的高，故其以石灰調整 pH 之目標值亦較高，以 6.5 為宜。耐酸性弱至中的作物因其生長所適合的土壤 pH 值並不需如耐酸性極弱作物那麼高，故其調整 pH 值之目標以 6.0 左右即可。

表一、各種作物之土壤酸性耐度

極弱	弱	中	強
大麥、洋蔥	小麥、番茄	栗	茶
高粱、蘆荀	玉米、蕪菁	蕎麥	水稻
甜菜、絲瓜	大豆、蘿蔔	燕麥	鳳梨
苜蓿、茄仔	豌豆	棉花	杜鵑
萵苣、青椒	甘藍	蠶豆	草類
芹菜、菠菜	冬瓜	煙草	越橘
洋香瓜	金瓜	草莓	西瓜
花椰菜	紅三葉草	落花生	曼越橘
白三葉草	包心白菜	馬鈴薯	百慕達草

(三)有機質肥料之施用對策

1.注意有機質料之種類與品質

有機質肥料種類繁多，大致可分爲難分解型與易分解型兩種：難分解型一般是以稻殼、樹皮、木屑、作物殘株等資材堆製腐熟而成之有機質肥料，含豐富纖維質，但氮、磷、鉀三要素含量較少，因其在土壤中的分解較慢，適宜用在改良土壤理化性質和促進土壤微生物活性，使作物根部有良好生長環境。易分解型一般以禽畜糞、動物性廢棄物、油粕類等資材腐熟而成之有機質肥料，含纖維質較少，氮、磷、鉀三要素含量高，其所含養分在土壤中分解釋放較快。施用時應注意其釋出之要素養分量，相對的減少化肥要素用量。

其次，有機質肥料如果堆製過程醱酵不完全，施用後容易傷害蔬菜種子，影響發芽率及蔬菜生育，品質不良的有機質肥料，一般而言含有氨氣或惡臭味道，及施用後吸引大量蒼蠅等現象，此種品質不良的有機質肥料應不要使用。

2、施用時期與方法

(1)基肥:基肥通常都於種植前施下，葉菜類採全面撒施，瓜果類或根菜及結球菜類可以按一定距離條施，以耕耘機或培土機作畦後種植，或於作畦後在畦中央開溝施下，有機肥覆土後種植於畦兩邊。大型瓜果類蔬菜穴施混土之效果佳。

(2)追肥:短期性作物多數使用基肥即足夠其全期生長之需要，但一些長期性作物，如胡瓜、菜豆、蕃茄、南瓜、蘿蔔等，或者栽培有機蔬菜亦有施用有機質肥料爲追肥，追肥使用量視作物種類和生長時期而不同，採取撒施施在地面距離蔬菜基部約 10cm 左右。如果使用施用含氮較高之油粕類有機資材或油粕液肥則可獲得較快效果。

(3)注意事項：有機質肥料不能與石灰資材混合一起施用，以免所含之氮素在鹼性環境中，以氨氣型態揮散。其次，排水不良的土壤應避免一次施用多量有機質肥料，造成土壤在嫌氣狀態下，引起作物根部的傷害。

3、有機質肥料之肥效檢討

參考前人之研究報告可知，有機質肥料之肥效與所含氮素之釋出關係最爲密切，施用不同有機質肥料在複雜的土壤環境中，有關氮素礦化之模擬、預測或一定期間可礦化氮量之化學速測等，乃爲有效應用有機質肥料之重要課題。

由於有機質肥料養分單價偏高及養分含量偏低、體積膨鬆，欲以有機肥料供應作物所需全部養分殆不可能。此外，作物的每一生長時期對養分之需求量因其生長量、根系之發育形態、及其吸收養分之機能而不同。故理想的施肥方法要能配合作物的生長時期，適時適量的施用肥料。合宜的施用化學肥料可成功地達到此目標，而有機質肥料施於土壤中需經過分解過程始可釋出作物所需養分，其分解速率除了有機質肥料本身之性質外尙受土壤及氣候環境、耕作制度等所影響，有關機制亟需研究模擬，才能估測施用有機質肥料可供給之養分，因此即使是充分腐熟的堆肥，也不能克服適時適量供應作物足量的養分之困難。故有機質肥料的施用必須配合適量化學肥料，以符合經濟效益，並可供應作物充分養分。

4、長期施用之影響

蔬菜園複作指數高，因此投入之有機質肥料之數量遠高於其他種類之作物，長期過量的施用有機質肥料除了可能造成土壤中累積多量的有機質、礦化氮素量超過作物生長所需的氮素需要量，造成作物產量及品質下降及污染環境(圖 3)，此外，慣常以氮素含量爲估算施用量之基準常發生養分不均衡問題。相關分析顯示豬糞堆肥及雞糞堆肥所含之磷含量顯著多於氮素含量，而著者等(1999)指出 15 作蔬菜三要素之吸收量爲氮 110 公斤/公頃、磷酐 33 公斤/公頃及氧化鉀 170 公斤/公頃，顯然蔬菜作物吸收磷素之量顯著少於氮素，因此以氮素含量爲基準之施肥 ，必然造成磷肥過量，長期施用所造成的不平衡將更加嚴重，有關長期施用有機質肥料之試驗，土壤中磷及鉀、鈣、鎂等要素有高量累積之現象，其對土壤環境及其他養分元素之影響，值得加以關注。

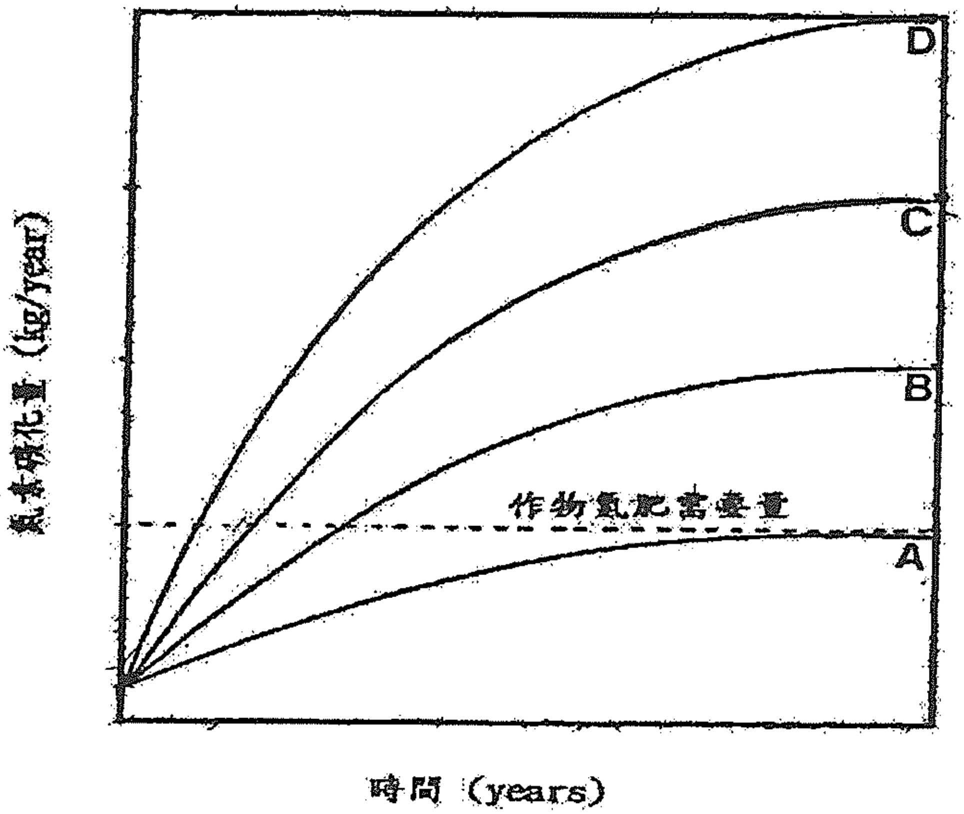


圖3.連用有機質肥料土壤氮素礦化量與時間之相關(A、B、C、D分別代表施用有機質肥料之氮素量爲作物氮肥需要量之1、2、3、4倍)

故長期施用有機質肥料時，應配合施含氮量高之有機資材或化肥氮肥，既可減少有機質肥料用量，且可避免上述現象產生。此外，長期施用有機質肥料會造成土壤 pH 值顯著提昇之現象，趙震慶等(1996)指出有機農耕法土壤 pH 值多在 7.2 及 8.3 之間，鍾仁賜及翁弘明(1998)亦有施用有機質肥料顯著提昇土壤 pH 值之報告，而著者等(1999)亦指出有機蔬菜區三作蔬菜連續施用雞糞堆肥後，表土 pH 達 7.6 顯著高於化肥區之 6.2，鑑於部份營養元素在鹼性之土壤環境中有效性降低，及鹼性環境易使表施之銨態氮肥以氨氣之型態揮散，長期施用有機質肥料時，土壤 pH 之變動趨勢，實須加注意。

部份學術及農業試驗單位分析過省產堆肥之品質，大家較注意的是

重金屬含量偏高之問題，其中以銅、鋅、鋁、鎳較高，部份高於本省主要土類重金屬全量背景值之上限，因此，禽畜糞堆製而成之有機肥料施用於農田雖對土壤肥力有所助益，但長期施用時，其所含重金屬仍須加以注意，因重金屬在土壤中不易回收，且在有機質肥料之施用量甚大時，施用有機質肥料是否使農田土壤受重金屬污染之顧慮值得重視。

5.綠肥及有益微生物之利用

廣義的有機質肥料包含有綠肥及有益微生物肥料，綠肥作物是綠色植物整體或部份於幼嫩期或成熟期供翻犁掩埋入土壤中當作肥料，及改善土壤理化性質之作物。綠肥作物生長期間能吸收固定土壤礦化之營養元素，豆科綠肥更可固氮，減少養分之淋洗及土壤之流失，並可抑制田間雜草之生長，綠肥掩埋後迅速分解釋出其所含之營養元素，種植後作作物時，應減少肥料用量，以充分利用綠肥釋放之養分。有益微生物如固氮菌、溶磷菌、菌根菌、 拮抗病等，其功能甚廣，例如可增進土壤氮素來源、增加養分的有效性及溶解度、釋放植物生長素、增進作物養分吸收、與病原菌產生拮抗作物等，施用時應適當調整化肥肥料之用量，以發揮其功能。

（四）土壤診斷與施肥推薦

由於蔬菜作物每作施肥量多，每作殘留的肥料量或有機質很多，此等殘留無機態養分量及有機質於下作期間可礦化之養分量等測定，對於次作施肥量之調節甚爲重要。藉土壤診斷以調節施肥乃益加必要。土壤速測是土壤肥力的快速診斷方法，係利用化學分析方法測定土壤樣品的若干物理化學性質與有效養分含量，藉以診斷該土壤的肥力狀況，進而推薦適當的施肥量。因此就土壤一定期間可礦化的養分量爲對象，探討速測方法，以便掌握蔬菜園於一作期間可供應之養分量，藉以調節其肥料施肥量。此外由於土壤水分管理模式影響土壤養分動態甚大，應列入施肥推薦時之重要參考因素，配合土壤速測之結果，教導農民合理的施用肥料，必然獲致高產量及高品質的蔬菜，且節省肥料支出，增加農民收益，對生態環境之維護亦有莫大的助益。

三、結語

倡導施用有機質肥料除了增加省產農牧廢棄物再生利用之機會，也具土壤肥力涵養及提昇作物產量及品質之目的。高複作指數之蔬菜作物生產時施用之有機質肥料數量遠高其他類別之作物，因此有機質肥料品質的穩定相當重要，據相關分析資料顯示部分省產有機質肥料之全氮含量及碳氮比變動甚大，且亦有水溶性氮偏高之情形，不但易傷害脆弱的蔬菜作物，也容易造成環境污染，更不利於農友有關有機肥料施用經驗之累積及施用技術之建立。長期多量的施用有機質肥料於蔬菜園土壤，應定期採取土壤樣本分析相關之理化性質，尤其是栽培有機蔬菜時係完全以有機質肥料供給蔬菜生長所需之養分，有機質肥料之施用量甚巨，此項工作更爲重要，既可作爲施肥之參考，也可瞭解土壤品質之情形，確保土壤環境生態之健康及平衡。

四、主要參考文獻

1.有機質肥料使用推廣農友經驗談書面資料。1998。台灣省政府農林廳編印。

2.有機質肥料使用推廣農友經驗談書面資料。1999。台灣省政府農林廳編印。

3.作物施肥手冊。1996。台灣省政府農林廳編印。

4.農作物有機栽培成果發表會專刊。1997。台南區農業改良場編印。

5.農作物有機栽培技術專刊。1998。台中區農業改良場編印。

6.王銀波、趙震慶、吳正宗。1998。長期施用禽畜糞堆肥之影響。第一屆畜牧廢棄資源再生利用推廣研究成果研討會論文集。P144-151。

7.王鐘和。1998。蔬菜作物之施肥策略。永續農業施肥策略研討會專集。P20-25。

8.王鐘和、李豔琪、林毓雯、丘麗蓉、連深。1999。土壤有效態氮測定

及其應用於蔬菜園肥培管理研究。八十七年度土壤肥料試驗研究成果報告。

9.王鐘和、林木連、林毓雯、'黃維廷。1999。水稻、蔬菜輪作有機栽培技術之研究。土壤肥料試驗年度報告。

10.王鐘和、林毓雯。1999。堆肥施用若干問題探討。第二屆畜牧廢棄資源再生利用推廣研究成果研討會論文集。P199-212。

11.李豔琪、連深。1997。有機質肥料之主成分含量及其變異。中華農業研究 46(2)：181-189。

12.洪崑煌。1995。有機物對作物生產的功能。有機質肥料合理施用技術研討會專刊。P59-71。

13.陳尊賢。1995。長期施用豬糞堆肥對土壤中重金屬之累積及合理施用量之評估。有機質肥料合理施用技術研討會專刊。P200-214。

14.連深。1995。有機質肥料之肥效試驗及結果判斷之若干觀點。有機質肥料合理施用技術研討會專刊。P110-125。

15.趙震慶、蘇楠榮、王銀波。1996。有機農法土壤肥力之變遷。中華農學會報。新 173:85-102。

16.諶克終。1979。蔬菜之營養生理與施肥之新技術。徐氏基金會出版。台北市。

17.鍾仁賜、翁弘明。1998。有機質肥料對蔬菜生長及全氮組成與土壤肥力之影響。農產廢棄物在有機農業之應用研討會專刊。P136-164。

18.Walsh,L.M.and J.D.Beaton 1983.Soil Testing and Plant Analysis. Published by Soil Science Society of America.

有機質肥料在花卉栽培上之施用技術

張庚鵬

行政院農業委員會農業試驗所農業化學系

一、 有機質肥料之優缺點

有機質肥料之施用可謂歷史久遠。早期人類能使用的肥料別無選擇，只有有機質肥料—即動物性的糞尿、屍骸，或植物性的堆肥。事實上，有機質肥料在提供植物營養，改良土壤，提高作物產量和減輕環境污染上也確實扮演著重要角色。在探討有機質肥料之施用技術前，吾人宜先熟悉有機質肥料之特性，明瞭施用有機質肥料之優缺點。

(一)有機質肥料之優點

1.提供作物生長所需的營養物質：有機質肥料中既含有大量元素，也含有微量元素，爲一綜合性的肥料，故能夠爲作物提供全面的營養(表一)。經常施用有機肥料的土壤，一般不易發生微量元素的缺乏。此外，有機質肥料尙可提供有機營養(礦化過程中產生之中間產物如葡萄糖、氨基酸、核酸等)、抗生物質(如人尿中含有生長素等)、腐植質及 CO_2 等，對作物之生長之促進具有正面的意義。

表一、家畜糞肥的養分含量(乾物) (孫等，1983)

		牛糞	豬糞	雞糞	羊糞
大量元素	有機碳(%)	39.9	41.6	33.4	41.4
	全氮(%)	0.87	1.25	1.78	1.25
	水解氮(ppm)	1788	2692	4934	1784
	NH_4-N(ppm)	3360	3430	3780	150
	全磷(%)	0.37	0.64	0.62	0.59
	有效磷(ppm)	2460	4710	2970	2950
	全鉀(%)	0.53	1.05	1.37	0.95
	有效鉀(ppm)	4000	7780	9350	6990
微量元素(ppm)	Mo	3.7	3.0	3.4	4.2
	Mn	355	291	172	143
	Cu	16.3	50.0	23.0	18.0
	B	22.8	21.7	30.8	24.0
	Zn	187	199	146	130
	Fe	1592	1845	1921	1901

2.提高養分的有效性：由於有機質具有較大的離子交換量，能夠提高土壤的保肥性，這對於移動性較大的養分離子如 NH_4^+、NO_3^-，K^+、Ca^{++}、Mg^{++}等的保存起了很大的作用。此外，有機質肥料在礦化分解過程產生的有機酸、HCO_3^-、CO_3^{2-}等對難溶性養分有溶解作用。又，有機質分解過程中產生的大分子化合物對鐵鋁氧化物有掩蔽作用，因而可以減低對磷、鉬和其它元素的固定作用。

3.提供長期穩定的肥效:有機肥料中的營養元素除了鉀等元素外(參考表一)，絕大部分是與有機化合物結合或呈有機態存在，所以作物不能直接吸收。只有經過礦化作用，轉變成簡單的有機化合物或無機狀態後，才能為作物所吸收。是故，有機質肥料是一種緩效性肥料，其提供要素的方式為長期而穩定的。

4.改善土壤理化性質：適當施用足量的有機質肥料，對理化性不良的退化土壤具有相當正面的意義。在物理性質方面，可以降低土壤總體密度，增加穩定性團聚粒子數量，改善通氣狀況；增加土壤的保水、保溫性質，提高作物的抗旱、抗寒能力。在化學性質方面，可提高土壤的陽離子交換量和增加對酸鹼衝擊的緩衝性能。

5.提高土壤微生物的族群數量：施用有機質肥料為土壤微生物提供大量的碳源，促進微生物的生長和繁殖。施用有機質肥料的土壤微生物總數比不施肥或施用化肥區要多得多(表二)，因而有利於土壤游

離氮及大氣氮素的生物固定，增加磷、鉀肥的釋放及抗生物質的產生，及增加土壤酵素的活性。

表二、化肥和有機肥對土壤有機質含量和土壤生物量的影響*

處理	C %	N %	細菌總數 個/克乾土	菌絲長度 米/克乾土	原生動物數 個/克乾土
無肥區	0.84	0.099	1.6×10^9	38	1.7×10^4
化肥區	1.00	0.115	1.6×10^9	41	4.8×10^4
廄肥區	2.59	0.251	2.9×10^9	47	7.2×10^4

*引自英國洛桑農業試驗站小麥長期連作試驗地材料

6.減輕環境污染與緩和能源和資源的緊張：在農畜牧業集約程度較高的地區，所生產的糞尿和廄肥數量龐大。若不加以利用，大量散發的臭氣不僅污染了空氣，被水淋失的養分(尤其磷肥)又造成了水質的優氧化。因此，若將這些糞尿和廄肥施到廣闊的土地上，在微生物的作用下進行自我消除，既減輕了環境污染的機會，又提高了土壤肥力。並且，由於有機質肥料取代了部分化學肥料，不僅減少了化學肥料工廠的排污量，也緩和了生產化肥所需消耗的能源和資源的緊張。

(二)有機質肥料之缺點

1.養分含量低，施用成本高：有機質肥料的養分含量低，若欲進行純有機質肥料栽培作物，且獲得高產，則單位面積所需要的有機質肥料量勢必遠較化學肥料為高。此外，有機肥在堆腐過程、運輸和施用上亦需花費大量勞力，因此，施用有機肥成本常較施用化學肥者高出甚多。

2.養分之釋放速率難以掌控：如前3項所述，有機質肥料所提供的養分為緩效性的，須經過礦化作用才能為作物所吸收。而土壤中的礦化作用與氣候因子(光照、溫度、通氣性、降雨量)、栽培方式(施肥深度、灌水頻率等)、土壤理化性質及微生物活性等多重複雜因子相

關，欲明瞭有機質肥料所提供之各營養要素在土壤中之釋放情形已屬不易，更難以侈談掌控其釋放速率。

3.要素成分固定，缺乏調整要素比率的權宜性：操作高經濟價值作物的精緻栽培時，在高產量、高品質的要求下，作物常須依不同生育時期，不同氣候因子之影響，而有不同的營養要素比率相配合。若只施用有機質肥料，由於要素成分固定及緩效性，除非有化學肥料之補助，否則勢將難以調整出適當之營養要素比率。

4.部分有機肥料帶有病蟲之媒源：未充分腐熟的動物性糞尿及廄肥，常帶有金龜子、蒼蠅等有害昆蟲之幼蟲。本省在大量施用雞糞或豬糞地區，蒼蠅與蚊蚋孳生之速度極為驚人。另外，一度感染病害之植物殘體所製成之堆肥，若無完整的腐熟過程，病媒將二度為害作物。

二、有機質肥料在花卉栽培上之施用技術

一般說來，完整的有機質肥料施用技術應包含適當的有機質肥料之選擇及正確的施肥法與施肥量。以下將針對有機質肥料在花卉栽培之施用技術，逐項進行討論。

(一)選擇最適當的有機質肥料：市售有機質肥料的種類繁多，栽培作物時可依現地需要及肥料成本等二項原則進行篩選。

1.現地需要：有機質肥料大致可分為難分解型與易分解型二種。難分解型通常以稻殼、樹皮、木屑、作物殘珠等堆置腐熟而成之堆肥。此等有機肥含豐富纖維質，在土壤中分解速度慢，氮、磷、鉀三要素含量較少。易分解型一般以禽畜糞、動物性廢棄物、製油類豆科作物殘渣等腐熟而成之有機質肥料。此類肥料含纖維質較少，氮、磷、鉀三要素含量較多，所含養分在土壤中分解釋放速度較快(表三)。

表三、常見有機質肥料三要素含量(作物施肥手冊)

有機質肥料	氮素	磷酐	氧化鉀
	-----------------	-%-	-----------------
一般堆肥	0.35~0.90	0.07~0.45	0.31~0.90
草木灰0	1~2	4~10	
乳牛糞尿混和物	0.60	0.15	0.45
豬糞尿混和物	0.50~0.65	0.28~0.35	0.35~0.40
乾雞糞(純)	3.00	3.10	1.30
花生粕6.55	1.33	1.00	
大豆粕7.52	1.77	2.27	

若栽種作物之土壤爲粗質地土壤(如砂質土、石礫地等)，或坋質粒含量高、團粒結構不佳，易於土壤表層結成硬皮的土壤，則依現地需求，宜先改良土壤的理化性質，此時應選擇難分解型之有機質肥料。若施用有機質肥料之主要目的爲提供作物生長所需的養分，則易分解型有機質肥料有較佳的肥效。

2.肥料成本：肥料成本即肥料之價格，以經濟效益來看，肥料成本當然是越低越好。一般說來，在腐熟程度完整，及需求相同(易分解型或難分解型)之條件下，要素種類、成分量常爲決定肥料價格的重要因子。例如，在乾(純)雞糞與粗糠雞糞的比較上，其所供應要素的種類和比率大致相同，但成分量乾雞糞約爲粗糠雞糞的 3~5 倍。市售上，乾雞糞每公斤約爲 2~2.5 元，粗糠雞糞約爲 0.8~1 元，即反應出成分量與肥料價格之相關。又如，禽畜糞動物性廢棄物與豆粕類之有機質肥料比較，由於豆粕類之要素成分量較高(尤其氮肥)，其售價也常較禽畜糞肥高出 3 倍以上。另外，有機質肥料之要素釋放速度及施肥成本(施肥所需耗損之工時)，亦常爲肥料價格之參考值。

(二)正確施肥法與施肥量

爲讓所施用之有機質肥料達成最高效率的作物生產量，正確的施肥法與施肥量是不可缺的。爲達成此種目的，首先，得先明瞭栽植土壤之理化性質，然後，按所栽種花卉作物之生育特性(長、短期採收，品種差異等)，參酌不同生育時期(苗期、營養生長期、生殖生長期等)、

氣候(光照強弱、溫度高低等)、栽培方法(整枝、灌溉方法等)等因子之影響，選用適當的有機質肥料，以正確的施用法施入正確的肥料量。接著，以一套簡單而實用的方法來進行肥力監控也是必須的，當栽培環境(如大量雨水沖淋等)或作物生育條件(如大量採收切花等)發生變化時，可以隨時掌握肥力變化情形，給予適當的肥料補充。下列將針對影響施肥法與施肥量的重要因子作進一步的探討：

1. 栽培土壤：栽培土壤之物理(如質地、團粒構造、孔隙度等)及化學(如酸鹼度、陽離子交換能力、要素含量等)性質與肥培管理直接相關，常為肥培管理之優先考量因子。下面列舉幾個土壤理化性質影響有機質肥料管理之事例，以供參考：

(1)在粗質地土壤(如砂質土、石礫地等)栽種花卉作物，由於土壤之保水保肥力均弱，宜先選擇富含纖維質之難分解型有機質肥料，以改善土壤之理化性質；再搭配部分高養分含量之易分解型有機質肥料，以提供作物充足之養分。難分解型有機質肥料之施用法宜採全面撒施混拌，且為防止肥料流失，宜逐年施用。施用量約每公頃每年 10~20 噸，連續施用 5~10 年以上。易分解型有機質肥料之施用法及施用量則應參酌其他因子，依實際狀況再作決定。

(2)坋質粒含量高、團粒結構不佳之土壤容易在大雨襲打或高水位淹灌後，土壤表層結成一層硬皮。當結皮現象發生時，施於土表的肥料就不亦為作物所吸收，根系也因通氣不良而生育不佳。克服此種結皮現象即可選用難分解型有機質肥料，其施用法採用全面撒施混拌，施用量每公頃約為 100~150 公噸，可維持 3 年以上之改善效果。

(3)雖然有機質肥料中已含有各種作物生長所需要的巨量和微量元素，但在部分地區土壤中要素含量不均衡，若長期施用有機質肥料，因要素拮抗現象及作物之特殊需求等因子之影響，可能導致要素缺乏或過剩毒害現象發生。例如在強酸性紅壤，土壤中鎂含量原本就較低，而多數有機質肥料中雖含有鎂，但因鉀含量遠高於鎂，長期施用時將因鉀、鎂拮抗而使缺鎂現象益形嚴重，須額外提供鎂之來源(例如施入硫酸鎂、苦土石灰等)，才能解決缺鎂問題。又如，在夏季高溫季節(尤其在簡易設施內)，數種對鐵需求較高的花卉作

物(如非洲菊、玫瑰等)，若栽植於 pH 值較高的土壤中(例如濁水溪之粘板岩沖積土)，極易發生缺鐵現象。此時施入有機質肥料(尤其富含纖維質之肥料如泥炭、木屑等，錳含量尤高。)，將因肥料中的鐵、錳拮抗而使缺鐵現象嚴重，須另外補充鐵肥。

2.生育特性：花卉作物的種類繁多，其生育特性也不盡相同，肥培管理自應針對不同之生育特性作必要之調整。以下將針對幾種重要的生育特性及其肥培管理重點作介紹：

(1)生育時期：花卉作物的生育期可簡單地分爲苗期、營養生長期、開花期等，球根花卉尙有蓄球期。苗期栽培僅需少量肥料，肥料過剩(尤其氮肥)易致生育受損或肥傷。營養生長期當以較高比率之氮肥爲主，以生產足量的枝條及葉面積。步入開花期則應適度將氮肥降低，提高鉀肥，因此時若氮素過多，枝葉繁茂將對開花不利。蓄球期則須將氮肥降至最低，提高磷、鉀肥，以利球體之養分蓄積及擴大。針對作物各生育期的養分需求，有機質肥料的施用法及施用量在可能的範圍內亦須進行調整。在肥料三要素—氮、磷、鉀中，有機質肥料中的氮大多爲有機化合物，礦化釋放的速度(與水分、溫度、土壤、微生物等因子相關)甚爲緩慢，只有少量的礦質氮、尿素和尿酸能在短期間爲作物吸收。有機肥中的磷較易礦化，全磷的一半很快爲作物利用。鉀幾乎全爲水溶性鉀，因而是速效性的。因此，依據有機質肥料之要素釋放特性，掌握各生育期之不同營養需求，乃爲有機質肥料施用技術的重點項目之一。

(2)採收期區別：花卉作物若依採收期長短，可區分爲短期及長期作物。短期作物如百合、劍蘭、菊花等，其採收期常集中在一小段時間內；長期作物如玫瑰、非洲菊、文心蘭等，其切花通常可以經年採收。以有機質肥料栽培短期花卉作物，由於有機肥之氮肥釋放速度緩慢，前期應注意氮肥之不足(尤其施用含氮低之有機肥)；而於下期作，則應考量氮肥的後續釋出。長期作物因須長期維持植株之生育旺盛，而基肥僅能維持一段時間，因此追肥之使用技術相當重要。以有機質肥料栽培長期花卉作物，前期亦應注意氮肥之不足，一段時間後(視氣候條件、作物生育狀況及肥料種類決定時間之長

短)，則應注意鉀肥之不足(鉀肥溶解釋放快速)。追肥可使用有機肥或化學肥，通常化學肥較經濟且能符合實際需求。由於經年採收，其氣候因子變化大，肥培管理也需要相應調整，此點將於下文繼續說明。

(3)品種：花卉作物因以觀賞爲目的，故而品種繁多。不同品種常須搭配不同之肥培管理。以玫瑰爲例，黛安娜與薄粉均爲粉紅色系，在生育速度上薄粉遠超過黛安娜，其所消耗之肥料自然較多，應提供較多之肥分。在非洲菊，國內粉紅色系常較橘紅色及黃色系品種需求更多的鐵，故常在高溫季節，栽培非洲菊的簡易溫室內見到嚴重缺鐵的粉紅色系，及缺鐵症狀較輕的橘紅及黃色系。遭遇此種缺鐵的情況，雖然有機質肥料亦能供應鐵，但通常供量仍嫌不足，須額外提供螯合鐵或硫酸亞鐵方能有效地改善。

3.氣候因子：氣候因子對作物的影響是相當鉅大的，花卉作物自然也不例外。除了生理方面的影響，在營養上，氣候因子也扮演著相當重要的角色。氣候對作物的影響主要的因子爲光照、溫度，露地栽培者尙有雨量等。光照及溫度影響作物對營養要素的吸收及利用率，水分(如雨水，灌溉水等)使加入的肥料溶解，如此才能爲作物的根系吸收及利用。

一般說來，高溫高光照條件下，氮素的吸收及利用特別的快，因此作物常呈現新生枝葉繁茂的景象；此時，可能導致巨量元素如鈣的缺乏(鈣素在高溫、通氣不良的條件下，被吸收率降低)及鉀的潛在性缺乏(氮鉀比過高，在艷陽下易致全株葉片軟垂)，或微量元素如鐵的缺乏。而在低溫低光照時，作物的生育速度緩慢。此時，可提供較高濃度的氮肥及磷肥(磷素在低溫時，被吸收率大幅降低)，以促進作物的生長；或提供較高的鉀量，以抵抗寒害等惡劣氣候。針對不同氣候因子的影響，有機質肥料的施用亦應相應進行調整(依不同肥料的各要素成分、要素釋放速度等因子，選擇適當的肥料，正確的施肥量及施肥法)，才能使所栽培的作物得到更高的產量及品質。

水分是作物生長所不可或缺的要素。正常說來，只要溶氧量充足，水分愈多，作物生育愈旺盛。在營養上，水分是營養要素(肥料)溶解

的必要溶劑，只有溶於水的營養才能爲作物吸收利用。在設施栽培中，水分常可藉由所設置的管路供應；但在粗放的露地栽培中，水分常由灌溉溝渠或雨水提供。值得注意的是，雨水提供的水分量由於難以掌控，常易發生肥料大量流失的現象，是故，如何預防及補救亦爲肥培管理的重要項目。

4. 肥力監控：爲了讓所栽培作物能達成高產、高品質之目的，恆定地維持土壤中適當的要素量及要素比率(即最佳肥力)是必須的。然則，肥力如何監控呢？一班說來，最精確的肥力監控方式爲，定期(且爲短期，須能顧及作物生育過程中的變因)採取土壤及植體樣本，進行要素分析，如此即可準確地測知土壤及植體中要素的比率及含量。可惜的是，制定穩定的採樣方法已屬困難，加上要素分析常須昂貴的儀器及須消耗相當多的時間、人力，此法常滯礙難行。

依據筆者多年的田間經驗，應用簡單的 EC(電導度)測定法似爲一較簡單可行之田間肥力監控法。由於土壤的 EC 測定容易，而經由電導度值即可粗略得知土壤中水溶性要素之總量。但此等肥力監控法須特別注意二項原則；第一：得先建立 EC 值與不同有機質肥料、施用後不同時期之肥力關係式。如在施用後某段時期，土壤 EC 值爲某數值時，氮、磷、鉀等要素之濃度量若何，升高或降低時，各要素之濃度量又變化若何。如此，吾人即可直接由土壤之 EC 值來判斷要素之總量，並定出適當肥力之 EC 值範圍。第二：由於土壤之 EC 值僅表示土壤中要素之總量，並無法表示各要素之比率。因此，當所使用的有機質肥料多樣化(不同肥料之要素比率不同)，或栽培環境有變動(如大雨使土壤中之氮、鉀肥大量釋出)時，即使其 EC 值相同，由於要素比率不同，應有不同的肥力意義界定及施肥方式之調整。

表四說明了以 EC 測定法監控施用雞糞之百香果園一作之肥力變化情形。在氣候正常的年份(1994)，土壤 EC 值呈穩定的下降；當遭逢氣候驟變時(1995 年 4~5 月之連續大雨)，土壤肥分大幅流失，EC 值亦大幅下降，此時若無適當的肥料補充，百香果的生育大受影響，產量亦將大幅下滑。

表四、施用雞糞(30噸/公頃)之百香果園之肥力變化情形(埔里大坪頂)

年	EC值(水：土 = 5：1)						
	3月	4月	5月	7月	9月	11月	12月
	ms/cm						
1994	0.46	0.43	0.41	0.28	0.18	0.15	0.12
1995	0.47	0.38	0.12	0.13	0.11	0.09	0.07

註 1. 雞糞施用時期為栽種作物前一星期之 2 月初，施用法為全園撒施混拌。

註 2. 1995 年 4~5 月間，連續二十數日大雨。

有機質肥料在果樹栽培上之施用技術

黃維廷　吳婉麗

行政院農業委員會農業試驗所農業化學系

果樹爲多年生深根性之作物，其生長與果實生產係多年果園土壤管理之綜合表現，而有機肥之施用爲栽培操作上重要之一環，果樹施用有機肥料有三項主要之功能，即協助廢棄物之消化與處理，促進果實生產，以及改良與護育果園土壤。

一、幫助農產廢棄物之消化與處理

台灣地區每年產出數量龐大可觀之農業有機廢棄物，估計有豬糞 431 萬公噸，雞糞 404 萬公噸，牛糞 166 萬公噸，稻草 260 萬公噸，穀殼 40 萬公噸，果菜廢棄物 70 萬公噸，蔗葉 210 萬公噸，蔗渣 417 萬公噸，廢棄太空包 5 萬公噸，花生殼 6 萬噸，魚渣 25 萬噸，進口油粕類 24 萬噸[(1)(2)]，如估算可製成堆肥(含水率約 30%)593 萬噸[(3)]。又每年飼養之牛豬、雞排泄物所含三要素量[(4)]分別爲農委會民國 83 年統計台灣地區化肥三要素總量之 58% ，233% ，110% ，除氮素外，禽畜糞尿所含要素量除氮外已可取代化學肥料[(3)]。這些廢棄物如果不回歸土壤使所含植物養分循環利用而任意棄置，不僅造成環境之負荷，亦且浪費資源。

二、果園施用有機肥料促進果實生產之效果

許多農業試驗場所執行的長期試驗顯示果園施用有機肥確可促進

果樹之增產與品質糖度之提昇，台中農改場執行三年(1988～1991)之葡萄有機肥田間試驗，產量顯示(每公頃施 15 噸)稻草堆肥區(6399kg/ha)較化肥區(5978kg/ha)增多 7% ，糖度以前者(16.7°Brix)較後者(15.9 °Brix)高出 0.8 °Brix[5]。1988 至 1993 年農試所於苗栗卓蘭椪柑園之有機肥試驗之結果，化肥區之果實產量較花生粕區(每採施用 10kg)及洋菇稻草堆肥區(每株施用 30 公斤)減產 13% [6]。據台東場 1990 至 1991 年晚崙西亞甜橙之試驗，深施 5 公斤有機肥之植株產量比不施者增產 13% ，糖度提高 1.1 °Brix[7]。高雄農改場執行荔枝肥料試驗的報告，指出施用雞糞較施化肥之果實糖度提高 1.3 °Brix，而豬糞堆肥顯著增加每果重與收量[8]。芒果施用發酵豬糞堆肥(40 公斤/株/年)之產量 5.44 公斤/株較施用化肥區之產量 4.05 公斤/株增產 34% [9]，而每株施用 10 公斤台肥 1 號有機肥植株之果實糖度最高 17.5 °Brix(化肥區者 14.3 °Brix)。花蓮農改場文旦肥培試驗指出深施(30-60 公分)台肥 1 號有機肥顯著較化肥施用增產且確可提高文旦柚之蔗糖含量[10]。

三、長期施用有機肥以改善與維護果園土壤條件(土壤理化性質)

有機肥料施入土壤中，經微生物礦化(mineralization)分解釋出作物所需養分後，最後產生不易分解之黑色穩定的腐殖質，爲土壤有機質之主要構成。具比重小，表面積大，陽離子交換能力高等特性，可促進土壤團粒構造生成，改善土壤排水、通氣性，增加土壤保水保肥能力及對酸鹼值與鹽分之緩衝能力，避免土壤硬化與不利耕作。農業試驗單位執行果園長期施用有機肥料試驗，對於土壤 pH、土壤有機質與肥力(有效性磷鉀鈣鎂等養分)及團粒構造之增加均提出有利的証據，例如芒果施用發酵豬糞堆肥土壤 pH 由原來 5.9 提升至 7.4，而無論施用豬糞堆肥或雞糞或台肥 1 號有機肥之試區之土壤均較化肥區之土壤有機質、有效性鈣與鎂顯著增加[9]，文旦柚果園之土壤分析結果顯示，深層(30-60 公分)施用台肥 1 號有機肥，與化肥區相較，皆可提高 0-60 公分土壤之 pH 值，有機質含量及有效性磷、鉀含量[10]。

四、果園施用有機肥料之原則與方法

果園施用有機肥料主要有兩種目標，一爲改善與調整果園土壤條件與理化性質，另一則爲供應作物生育時期所需養分。欲達成不同的施肥目的常選擇不同的有機肥料與施用方法，因此需對有機肥料之種類與性質有適當的認識與了解。

(一)認識有機肥料之種類與性質

市售與農友常用之有機肥料大致可粗分爲動物質有機肥、植物質有機肥、蒿桿類有機肥及商品堆肥，其詳細種類及三要素成分與碳氮比如表一至四所列示。碳氮比影響礦化(mineralization)分解成作物可利用養分之速率，碳氮比愈高者，肥分低且礦化分解速率慢，但富含木質素(liqnin)與纖維質，將來分解穩定後，長期可貢獻與維持土壤有機質含量，而改善與維持土壤通氣保水保肥等物理性質。碳氮比低者，肥分(三要素)較高，分解迅速，可即時滿足作物生育養分的需要。有機肥料三要素成分與碳氮比之礦化速率必須列入施肥量之估算，以酌扣化肥的施用，才不致施肥過量，或造成後期果實成熟期間土壤中氮素含量太高，抽梢旺盛與果實競爭養分的情形而影響果實品質，或下雨灌水大量吸收利用以致引起裂果現象。

一般而言，碳氮比高(30-60)之稻蒿類，木屑與樹皮堆肥類有機肥，一作 (以稻槁爲準)期間之礦化率，據測定約爲 10～30%[11]；如稻槁之氮、磷酐、氧化鉀含有率各爲 0.6、0.2 及 2.0%，則其每公噸施用量之當作要素釋出量將爲氮、磷酐、氧化鉀各 0.6～1.8、0.2～0.6 及 20 公斤。豬糞堆肥、牛糞堆肥和稻草堆肥等碳氮比屬中低者(10～15)，其在一作期間之礦化率則中高(85～50%)；如豬糞堆肥之氮、磷酐、氧化鉀含有率各爲 3.0、2.5 及 2.2%，而其預估礦化率爲 80%，則其每公噸施用量之當作要素釋出量將達氮、磷酐、氧化鉀各 24、20 及 18 公斤。至於綠肥、豆粕、雞糞等碳氮比低者(8～10)在土壤中之礦化迅速，其在一作期間之礦化率幾近 100%；如大豆粕之氮、磷酐、氧化鉀含有率各爲 6.0、1.5 及 2.0%，其在一作期間之礦化率爲 100%，則其每公噸施用量之當作要素釋出量將達氮、磷酐、氧化鉀各 60、15、20

公斤[11]，均宜自推薦之化肥施肥量中扣減。

表一、動物質肥料成分表（%）

肥料名稱	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	肥料名稱	氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣
鯡渣	10.0	4.5	1.0		蒸製骨粉	4.0	23.5	0	33.0
沙丁魚渣	9.0	5.0	0.8		皮革粉	12.0	3.4	0	-
鯖、青花魚渣	7.0	11.7	0.3		乾血(血粉)	13.0	2.0	1.0	-
雜魚雜碎渣	7.7	9.3	0.3		鯨肉渣	9.2	1.3	0	0.5
鱈魚渣	7.4	11.2	0.7		鯨骨粉	3.0	25.0	0	-
魷魚渣	2.8	1.0	0.2		骨灰	0	35.0	0	46.0
蟹殼粉	4.5	3.5	0.5	28.5	魚粉	4.8	4.3	0.2	0.5
蝦殼粉	4.6	1.9	0.8		羽毛粉	13.4	0.3	0.1	-
蚵殼粉	0.2	0.1	0.02	28.8	毛髮	13.0	7.5	0.1	-
雜魚小魚蝦	4.5	2.5	0.3						

（摘錄自吳正宗「有機農業驗証檢驗師研習班」講義）

表二、藁桿類成分表（%）

名稱	碳氮比	氮	磷酐	氧化鉀	名稱	碳氮比	氮	磷酐	氧化鉀
稻桿	61	0.6	0.1	0.9	豌豆莖葉		1.0	0.4	1.0
稻殼	72	0.5	0.2	0.7	蠶豆莖葉	38	1.6	0.3	2.0
米糠	20	2.0	3.9	1.5	甘藷莖葉		1.1	0.5	1.3
小麥桿	75	0.6	0.2	0.6	玉米桿	51	0.5	0.4	1.7
高粱桿	73	0.7	0.3	1.9	油菜桿	62	0.6	0.3	1.1
大豆桿	30	1.5	0.5	0.6	茶渣	16	3.1	0.5	0.6
大豆莢		0.8	0.2	2.3	蔗渣	105	0.4	0.1	0.3
花生桿	28	1.7	0.4	1.3	菸葉渣	18	2.6	0.8	5.4
花生	22	1.7	0.8	1.0	菸莖	14	1.7	1.1	5.6

（摘錄自吳正宗「有機農業驗証檢驗師研習班」講義）

表三、植物質肥料成分表（%）

肥料名稱	氮	磷酐	氧化鉀	碳氮比	肥料名稱	氮	磷酐	氧化鉀	碳氮比
大豆粕	7.0	1.3	2.1	5	燒酒粕	5.0	1.0		
油菜籽粕	4.6	2.5	1.4	8	蓖麻籽粕	5.4	2.2	1.5	4.5
落花生粕	6.3	1.2	1.3	8	咖啡粕	2.0	0.5		
胡麻粕	5.0	2.0	1.9		澱粉粕	0.7	1.5		
向日葵粕	5.2	1.7	1.4		菸草粕	2.0	1.5	15.0	
米糠油粕	2.5	5.0	2.0	15	紡織棉粕	0.7	0.5		
醬油粕	3.0	0.8	0.5		海草粉	1.5	0.5	4.0	
芝麻粕	5.8	3.2	1.5	10	椰子粕	4.5	1.2	2.7	
棉籽粕	3.4	1.6	1.0		松樹木屑	0.1			730
					松樹皮	0.2			220

（摘錄自吳正宗「有機農業驗証檢驗師研習班」講義）

表四、商品堆肥之成分含量（%）

堆肥名稱	氮	磷酐	氧化鉀	碳氮比
香菇廢棄介質	1.35	1.06	0.44	27
金針菇廢棄介質	0.94-3.5	0.78-4.4	0.48-1.2	
豬糞堆肥	0.9-5.7(2.5)*	0.7-9.4(2.9)	0.1-2.6(1.0)	9-48(15)
雞糞堆肥	0.4-5.7(2.1)	0.7-9.6(3.7)	0.3-6.6(2.1)	6-94(19)
牛糞堆肥	1.2-3.9(2.2)	0.8-5.1(2.3)	0.4-3.2(1.6)	
蔗渣堆肥	1.22	0.25	0.49	21

(摘錄自吳正宗「有機農業驗証檢驗師研習班」講義，括弧內爲平均值)

(二)改善果園土壤條件之有機肥施用原則與方法

果實採收後，農民習慣實施犒賞果實一年或一作辛苦生產之禮肥，以幫助恢復樹勢，花芽分化及休眠前照顧枝葉以維持光合作用累積翌年萌芽開花所需之樹體養分，通常施用速效性碳氮比低而含氮量高之豆粕類，或化學氮肥。禮肥與基肥不易區隔，常一併實施，即於前作採收後整枝修剪前或冬季休眠期實施之基肥，除施用含氮量高之植物質粕類有機肥(配合部分化學氮肥)以達禮肥之目的外，更應著重果園土壤改良管理而施用秸稈類有機堆肥。碳氮比高之槁稈類有機堆肥與動植物殘體經土中微生物分解後，可貢獻與維持促進土壤疏鬆排水通氣保水保肥之土壤有機質與腐殖質含量。有機堆肥與石灰、過磷酸鈣及溶磷骨粉等混合施用，無論是供作果樹苗移植穴之生長介質或成樹基肥深施，均爲良好之土壤改良資材，可塑造良好之根圈生長環境，誘引根系分佈向深度發展及增加根生長量。台灣地區高溫多雨，土壤有機質分解迅速，尤其坡地果園需要施用有機堆肥與草生栽培來維持土壤有機質含量。基肥實施宜以農機深耕(挖)溝穴，最下層可置放石灰或苦土，中層爲有機堆肥及果園修剪下粉碎之枝條，最上層可置放粕類有機肥或部分化學肥料並覆土。一般果樹如梨、蘋果、葡萄根系分布較深可達 70-80 公分，而且 80%以上根集中於 40-60 公分左右之土層中，故基肥施肥溝穴宜深至 30 公分以上至 60 公分，施肥溝或穴(宜 5 穴以上)之選擇，視人工勞力與農機等狀況而定，樹冠下緣溝穴之位置，東西向或南北向可年年輪替更換。

(三)供應作物生育時期養分需要爲目的之有機肥施用原則與方法

有機肥料之三要素比例不一定適合作物要素需求或特定之土壤肥

力狀況，不當過量長期之施用有可能造成土壤中養分不均衡而影響果實收量與品質，因此必須了解所施用的有機肥料之三要素成分，碳氮比礦化分解速率，適當估算投入施肥量，而酌扣化肥之施用，使適合作物生長所需，表五爲常見果樹之三要素推薦量[12]可供施肥參考。

一般而言，休眠後萌芽至開花前需消耗養分相當多，如休眠期或休眠前基肥與樹體貯存養分不夠，養分供應不及時就會使花期延後並降低著果率，因此萌芽開花前宜提早三週以上實施追肥，追肥可以選擇含氮量高碳氮比低之速效性粕類有機肥，配合化學磷鉀肥。至於花後果實發育期之幼果與中果期，則可於各生育期前二週施用有機追肥，但仍須配合化肥磷鉀肥施用，如能補充鎂肥更佳。施肥位置與方法，可於樹冠下緣，以環狀或溝狀或穴狀(4-6 穴)淺耕覆土施入，並配合適當的灌溉或雨水。

表五、常見果樹之三要素推薦量(公克/株/年)

	樹齡或產量	N	P_2O_5	K_2O	堆肥
柑桔	120 公斤/株	800-1200	350-500	600-850	
香蕉	50 公斤/株	110-165	55-80	220-330	10 公斤/株
鳳梨	主作	550-650	100-1200	300-600	20 公噸/公頃
	宿作	250-300	200-240	100-150	
荔枝	9 年生	300-360	100-150	270-360	20 公斤/株
番石榴	3 年生	100-150	1200-1800	100-150	10 公斤/株
蓮霧	8 年生	1200-1600	180-250	1200-1800	20-30 公斤/株
芒果	10 年生	250-350	130-150	400-500	
木瓜	1 年生	70-90	250-300	90-120	10 公噸/公頃
楊桃	6 年生	400-450	400-500	600-650	10 公斤/株
梨	10 年生	700-800	150-200	500-700	20 公斤/株
棗	3 年生	300-400	70-110	400-500	30 公斤/株
李	6 年生	100-150	200-300	100-150	20 公斤/株
梅	5 年生	400-500	220-260	300-500	
桃	10 年生	400-500	40-60	300-350	12 公斤/株
柿	7 年生	180-220	250-350	180-220	10 公斤/株
番荔枝	6 年生	450-650	100-150	450-500	10 公斤/株
葡萄＊	3 年生	120-160	250-350	120-160	20 公噸/公頃
枇杷	3 年生	500-600	100-150	400-500	10 公斤/株
百香果		250-300		600-800	

＊公斤/公頃

五、結語

九二一大地震重創台灣主要水果產區之中部東勢、石岡、卓蘭、和平等鄉鎮，期盼畜牧堆肥業者與有機肥料製造商，能主動提供價廉腐熟質優之有機肥料給全世界最聰明與勸奮的台灣農友，生產甜美多樣化之水果。亦不失爲經濟上對農友生產重建成本之賑助，期待水果之鄉再現繁榮與田園山水之美。

六、參考文獻

1.農林廳　1994　台灣農業年報。

2.王西華　1988　農業廢棄物在有機農業之利用　有機農業研討會專集 p217-227。

3.張淑賢 1995　有機資材利用之試驗研究現況與展望　有機質肥料合理施用技術研討會專刊　台灣省農業試驗所特刊第 50 號 p1-4。

4.嚴式清　1989　畜牧廢棄物在有機農業之利用　有機農業研討會專集 p229-242。

5.王錦堂，陳鴻堂，賴惠珍　1991　有機質肥料對葡萄產量及品質改進試驗　農林廳各試驗場所試驗評議會八十年度土壤肥料與試驗報告。

6.張淑賢，黃維廷，連深　1993　柑桔園土壤有機質管理試驗　農林廳各試驗場所試驗評議會八十二年度土壤肥料組試驗報告。

7.張茂盛，蘇德銓　1991　晚崙西亞甜橙肥培管理方法之改進　農林廳各試驗場所試驗評議會八十年度土壤肥料組試驗報告。

8.洪阿田　1994　有機肥料荔枝產量品質及土壤性質影響　農林廳各試驗場所試驗評議會八十三年度土壤肥料組試驗報告。

9.鄭榮賢　1993　有機質肥料對愛文檬果果園土壤肥料、果樹營養及品質改進之效果試驗　農林廳各試驗場所試驗評議會八十二年度土

壞肥料組試驗報告。

10.彭德昌，江國忠　1994　有機質肥料不同施肥法對文旦柚品質與產量之影響　農林廳各試驗場所試驗評議會八十二年度土壤肥料組試驗報告。

11.連深　1998　水稻之合理化施肥技術　合理化施肥推廣手冊(1) p8-13　行政院農委會台灣省政府農林廳出版。

12.黃山內　1998　果樹施肥合理化　合理化施肥推廣手冊(1) p14-19　行政院農委會台灣省政府農林廳出版。

有機質肥料在茶樹栽培上之施用技術

林木連

行政院農委會農業試驗所農業化學系

一、 前言

茶是人類寶貴的作物種原，這個種原是一種多用途作物，因爲它主要的利用上功效有：

(一)人類健康優良的天然飲料，具有生津止渴及提神功能。

(二)具有保健的功能如防止心臟血管疾病、防癌、防阻齲齒等。

(三)集團茶園提供人類美麗之生態景觀。

此外茶葉可以入菜，供製茶餐；茶葉可以用來提煉茶黃質，供爲天然黃色色素；近來茶葉抽出物更作爲化妝品的添加成份之一，以防止面部皮膚的衰老。

茶有這麼多功效，但基本上都要由種植茶樹，好好地加以栽培管理，合理化的施肥，才能生產良質的茶菁，供製造茶葉，人類才能享用。施肥是茶樹栽培重要的管理操作，要合理化施肥有其環保及經濟上的理由：

(一)磷、鉀肥在地球上的孕藏，約再五百多年就用光了，我們一定要珍惜地去使用。如使用禽畜堆肥就是循環利用氮磷鉀素。

(二)氮素的來源雖然較豐富，但是地球上氮氧化物（NO_x）的造成地球溫室氣體效應，一半是來自施用銨態氮肥，它是茶樹喜好吸收的肥料；此外不當過量的氮肥施用也會污染水源。因此氮肥的施用就講求要有效率，能減少施用。

(三)合理化施肥是降低茶園耕作成本的方法之一。特別是很多年來茶葉的售價並沒有明顯的提升，而栽培管理的工資及資材卻有往上漲的趨勢。另外台灣肥料公司已民營化，政府對肥料價格不提供補貼，肥料售價勢必調漲，爲因應這些不利因素的衝擊，

所以要提倡合理化施肥。

二、 茶的植物營養特性及土壤需求

茶樹是喜好酸性土壤的作物，適合茶樹生長之土壤酸鹼度最適在 4.0 至 5.5 之間，土壤 pH5.5 以上，土壤水溶性鋁之有效性低，不利茶樹生長，因此無論化學肥料或有機質肥料施用應儘量維持土壤 pH 在上述之範圍。

（一）氮素需求高

茶樹因是採收生葉之作物，爲支持生葉之生長，茶樹必須由土壤中不斷地吸收氮素。相對於氮素，茶樹對於磷、鉀素之需求就較低，這也是爲什麼茶樹之專用複合肥料 42 號之三要素比例爲 23：5：5（N：P_2O_5：K_2O）。通常生產 100 公斤之乾茶，在乾茶裡約含有 4.5 公斤之氮素，這些氮素主要是由施肥吸收而來，可見氮肥補充在茶樹生長之重要性。

（二） 喜好吸收銨態氮

茶樹的根在土壤中能夠吸收銨態氮、硝酸態氮及簡單之有機態氮，但相較之下茶樹比較喜歡吸收銨態氮。茶業改良場曾進行盆栽試驗比較在利用石英砂培養台茶十二號及青心烏龍二種茶樹品種，施用尿素、硫酸銨及硝酸態氮（使用硝酸鉀及硝酸鈣）對茶樹幼苗生長之影響，發現以施用尿素對茶菁之收量最好，萌芽期爲最早，其次爲硫酸銨，最差爲施用硝酸態氮。因爲在土壤中尿素很快就水解爲銨態氮，故亦有學者認爲尿素之氮型態亦屬銨態氮。銨態氮對茶樹有生長促進效果，故如能在土壤中維持高濃度之銨態氮將是甚爲有利的。

一般而言施用有機質肥料，尤其是粕類肥料內所含之蛋白質、氨基酸之在土壤中慢慢礦化爲銨態氮，可在土壤維持較高之銨態氮濃度，是施豆粕類肥料對茶樹生長有利原因之一，雖然銨態氮終究硝化成硝酸態氮。

硝化抑制劑可抑制銨態氮之硝化成硝酸態氮，雖然有商品出

售，但仍並不實用。

茶樹所以喜歡吸收銨態氮的原因與遺傳的營養基因型有關係，第一：茶樹體內的硝酸還原酵素之活性很弱，第二：銨態氮在茶樹吸收後會很迅速地被同化成茶氨酸及其他氨基酸。

（三） 對錳、鋁、氟吸收多

茶葉中的元素組成與一般作物有所不同，除了含氮量高外，錳、鋁及氟素之含量也比一些作物為高，茶樹可以說是會累積吸收錳與鋁之作物，茶葉中含有高量的氟素。

表一、茶葉中之元素含量

元素別	含量（乾基）	元素別	含量（乾基）
N	3.5 – 7.1 (%)	Fe	100 – 200 (ppm)
P	0.2 – 0.7	Mn	500 – 3,000
K	1.6 – 2.5	Cu	15-20
Ca	0.12 – 0.57	Zn	45 - 65
Mg	0.12 – 0.30	Mo	0.4 – 0.7
S	0.24 – 0.48	B	20 – 30
		Al	420 – 3,500
		F	17 – 260

※小西（1994）

（四）鋁有促進茶樹生長之作用

茶樹能吸收多量的鋁而存在於老葉中，再透過落葉而回歸土壤，高量的鋁在一般作物中有毒害作用，尤其是豆科作物，但鋁對茶樹卻有促進生長之作用，茶樹具有解鋁毒之機制。鋁雖對茶樹有促進生長之作用，但茶園肥培管理上並不要施用鋁肥，因為酸性土壤就能夠供應茶樹生長所需之鋁。

（五）低氯性

施用過量之含氯肥料，可能對茶樹生長有不良影響。雖然不含氯之鉀肥如硫酸鉀可能對茶樹之生長與茶葉之品質較好，但硫酸鉀之價格要比氯化鉀高出很多，實用上並不經濟。

（六）嫌鈣性

茶樹是屬嫌鈣型之作物，對鈣之需求要比一般作物低很多。根

據研究土壤中交換性鈣之含量若超過1440ppm就會妨礙茶樹的正常生長，嚴重時茶樹甚至會死亡，所以茶樹不能種植於石灰性土壤。一些報告也指出鈣素對茶葉品質有反效果。

（七）季節性

因爲茶葉採摘之關係，如在台灣茶區一年可採五次茶，造成茶樹在一年的生長過程中對營養元素之吸收，呈現強烈的季節性特徵。

在台灣茶區每年在 10～11 月份以後茶樹地上部之生長就逐漸停止，直到隔年 2 ～3 月間，但這段期間茶樹雖呈現休眠，葉片仍然進行光合作用，從事物質之累積，特別是把累積之物質存於枝條與根部，供新稍芽葉生長所需，成爲春茶生長的重要物質基礎。春茶生長期之營養元素吸收量的佔全年總吸收量之 40—45%。故一般肥料施用量也認爲全年施肥量之百分之五十應放在春茶茶芽萌發前。

在茶樹地上部生長期間，芽葉之生長與根系之生長會呈現節奏性和明顯的輪次性，即地上部之生長和根系生長之間有一種交替生長之特點。

三、目前茶園施肥一般缺失

（一）施肥過多且不均

根據調查目前高級茶區施肥有一半以上之茶農有過量施肥之現象。本省茶園施肥以使用複合肥料如台肥 1 號及 42 號複肥爲主，因化學肥料之長期施用，大部份茶園土壤有酸性化之傾向。因施肥策略以利用複肥中之氮素爲著眼點，高量氮肥之施用，伴隨施用了複合肥料中的磷、鉀，根據茶區土壤分析之結果茶園土壤中之磷、鉀素已呈相當豐富之範圍，特別是化學肥料配合有機質肥料施用之茶園，總施氮量有偏高之缺失。

（二）未加覆土

目前茶園施肥最大缺失爲施用化學肥料或有機質肥料未與土壤混合（或覆土）施用。本省茶園大部份分佈在坡地上，此種施肥方

式肥效低落，若遇雨季或過量灌溉極易造成肥分流失，影響生態環境。

（三）有機質肥料施用偏好豆粕類

本省茶園有機質肥料施用一般偏好豆粕類有機質肥料，此類肥料有機質含量偏低，不利土壤有機質含量之增進，地力之維持，可改用富含纖維質之有機質肥料。

（四）未摸清茶園土壤之理化性質

本省茶園土壤尤其是紅壤茶園，陽離子交換能量（CEC），即俗稱之保肥力一般屬低落，加以土壤結構良好，水分入滲容易且快速，極易造成暴雨後，肥分流失。有些茶園屬砂質土壤，屬硝酸鹽類流失，污染地下水源，此種類型土壤肥料之施用宜少量多施。

四、茶園合理化施肥之原則與方法

茶樹的施肥推薦乃是經由田間肥料試驗，考慮施肥對產量與品質的影響後，再加以訂定的，雖然茶樹之最適施肥量宜配合個別茶園之土壤肥力、氣候條件、栽培品種、耕作制度、茶樹生長勢及製茶種類來加以決定，但這種肥培管理方式實際上很難做到，應用上可參考茶樹適宜施肥量（如表二），換算成台肥 1 號或 42 號複肥之用量，再對照自己茶園各種產製條件，酌加調整。

（一）適量施用化學肥料，降低生產成本

表二、茶園適宜氮素肥量

樹齡	幼木					成木			表土有機質含量
	1	2	3	4	5	6	7	8	
多量	90	150	240	300	360	360	400	450	< 2%
中量	70	120	200	260	320	320	360	400	2-4%
少量	50	100	160	240	300	300	320	360	> 4%

註：1.8 年生以上成木茶菁產量每年每公頃達一萬公斤以上者，每年可施用台肥 1 號複肥 2,000－2,300 公斤或台肥 42 號複肥 1,750－2,000 公斤。

台刈茶樹施肥量依第 4 年幼木茶樹施用量。

2.配合施用有機質肥料時，以有機質肥料施用量及其含氮量計算所施用氮量，酌估該減少之化學肥料用量。

表二為各樹齡之氮素用量，實際施肥時可換算成台肥 1 號複肥（20：5：10）或台肥 42 號複肥（23：5：5）之用量，若土壤交換性鉀較缺或剪枝、台刈前後可選用台肥 1 號複肥，若茶園土壤含鉀量豐富可選用 42 號複肥。

（二）注意施用時機及方法，以提升茶葉產量與品質

依各茶區氣候及茶菁採收茶季不同，靈活調配施肥時間，一年可分二次、三次或四次施肥，依個人勞力，茶園經營策略而定，原則上以茶芽萌發前即施肥完畢。雨季時期若土壤水分過多，或乾旱季節土壤水分過少，皆不可施肥，宜在土壤水分適當濕潤狀態下施肥。至於施肥方法平地茶園可採取撒施用中耕機翻犁入土、開溝條施覆土、或點施覆土之方式；坡地茶園若不適合中耕可採條施或點施，但一定要覆土以減少肥料之流失或揮發。

（三）配合土壤與葉片分析進行合理化施肥

茶園土壤及葉片分析是釐訂合理化施肥推薦之有效工具，惟此

一技術之發揮有賴茶農們確實之配合，如遵循正確的取樣方法，根據分析結果適當的調整施肥用量與方法。有關茶園土壤及葉片分析之取樣方法可洽茶業改良場或有關轄區之試驗改良場所。

五、茶園有機質肥料合理化施用

（一）油粕類

油粕類有機質肥料爲台灣茶區最常用之有機質肥料。無論是日本、中國大陸或是我國的報告均認爲油粕類有機肥料對茶葉增產及品質之改善有良好之效果。然而大部粕類在土壤中分解迅速，可供應茶樹速效性的氮素，但有機質含量少且售價偏高是其缺點。油粕類也因其個別之組成分及榨油時之加熱方式不同，施用時覆土與否，施用時之土壤溫度，水分狀況，而影響到肥效之遲速與氮素之供應量。

表三，是一些主要粕類之參考氮磷鉀成分，可供做評估施用多少肥分之參考：

以花生粕爲例其氮素含量爲約 6.55% ，假如你每公頃施用 4000 生粕，以粕類在茶園中之無機化率 70% 計算，則已投下如下式算出之氮素量 182 公斤。

4000 公斤 × 0.065 × 0.70 = 182 公斤

以成本茶園每公頃氮素推荐量 480 公斤，其餘 300 公斤氮素可再換算成複合肥料用量約爲施用台肥 1 號複肥每公頃 1500 公斤

表三、各種粕類參考成分對照表（%）

種類	氮	磷酐 P_2O_5	氧化鉀 K_2O
棉籽粕	5.38	2.61	1.90
蓖麻粕	5.50	2.83	1.20
椰子粕	4.28	1.24	2.67
亞麻仁粕	5.09	2.06	1.33
花生粕	6.55	1.33	1.00
花生殼粕	5.07	0.98	1.50
大豆粕	6.50	1.37	2.14
桐籽粕	2.94	1.04	0.77
胡麻粕	5.07	0.98	1.50

台灣茶區最常用之油粕類有機質肥料為豆粕類，包括大豆粕、花生粕等、蓖麻粕或菜籽粕，亦常被施用於茶園。粕類若澱粉或纖維含量多，而蛋白質少，碳素含量高者，分解就緩慢，可給態氮之生成量也少，但卻可供給土壤較多之有機質。菜籽粕在土壤中分解較為緩慢，可能與含有高成分之芥子油類有關；另菜籽粕無機化百分率較低約只 40% 左右。下列為幾種油粕類肥料之介紹：

1、大豆粕

大豆粕為有機溶劑提油後之殘餘物，所含之氮素大部份為蛋白質型態。它在土壤中分解成銨態之氮素為所有植物性油粕中，最為迅速者。磷素則大部份為有機態，肥效遲緩。鉀素大部份為水溶性，含量約 2% 左右，次於鉀含量很高的椰子粕。大豆粕之 C/N 比（碳氮比）約在 4.7 左右，屬低碳氮比有機質肥料，在土壤中分解迅速。

大豆粕為屬單價高之有機質肥料，它的高氮素含量在多量施用下，幾乎可與化學肥料之肥效相比，雖然亦可供給其他微量元素，但磷、鉀素之含量則顯然不足，仍須由化學肥料加以補充。大豆粕因施用後分解迅速，在茶樹可做追肥使用，然台灣茶區一般均在秋冬茶採後施用，因天氣寒冷分解速率較低。豆粕類施用後一定要覆土壤，以使土壤微生物參與豆粕之分解作用，另也可避免肥分因雨或其他因素而損失，尤其隨雨水逕流而污染水源。

成木茶園大豆粕每公頃之施用量約 4 公噸，幼木茶園可依樹齡

而酌量減少施用量。施用大豆粕有改善土壤團粒構造，增進土壤透水性之效果。惟幼木茶樹應避免大量施用豆粕以免分解過程中產生有機酸，對茶苗生長發生障礙。連年多量施用應考慮逐年變更施肥位置，以免養分在局部累積，效果反而不好。

豆粕切忌與尿素共同施用，以免尿素急速分解而使氨氣揮散掉。與其他豆粕類一樣，大豆粕切忌長期儲放，尤其在氣候潮濕的情況下，易引起微生物發酵，增加以後施用麻煩，同時肥分亦會損失。

爲提高豆粕類之肥效，粕類可在室內堆積接種微生物使其發酵分解，時間約須一星期左右，惟每天須進行翻堆一次，頗爲費工。等發酵至適當程度再施到土壤中，可使粕類迅速無機態化，同時有可增加土壤微生物的活動。此種粕類有機肥製造亦稱爲伯卡西肥製造法，可依需要加入骨粉以提高磷素肥分，加入沸石粉以增加土壤保肥能力，在日本有機農法上爲一推荐式之有機肥製造方法之一。

2、花生粕：

含殼之花生粕其氮素含量幾與大豆粕相當。含殼之花生粕肥分稍差，但卻含較多之纖維性有機質，對土壤物理性改良較有助益。與其他粕類一樣，油分殘餘量之多寡會影響在土壤中分解之速率。花生粕之推荐施用量亦約在每公頃 4 公噸左右。

3、蓖麻粕：

蓖麻粕除含氮量高外，磷素之含量亦高。其成分與菜種粕、棉籽粕約相當。C/N 比約在 4.5 左右。蓖麻粕在土壤中之分解速率較大豆粕遲緩，但無機態氮素之硝化作用較大豆粕爲快。蓖麻粕仍不能單獨當完全肥料使用，仍須補充不足之磷、鉀素。施用蓖麻粕對土壤大型，團粒之形成，透水性之改善有其正面之效果。每公頃之施用量約在 4 噸左右。

4、棉籽粕：

棉籽粕之特性是含有高量的磷素，雖然遠比米糠粕的磷（P_2O_5）含量 5.82% 爲低。棉籽粕之 C/N 比在 4.5 左右。棉籽粕因含纖維質果皮，故施用棉籽粕可比其他豆粕類獲得維持較長久之有機質。

5、胡麻粕：

胡麻粕乃一非常高價之油粕類，其磷素含量稍低。由於胡麻粕乃用壓榨法提油，故其殘存之油分較其他油粕以溶劑提油者爲多，故在土壤中之分解速度稍爲遲緩。

6、米糠粕：

米糠粕乃由蒸熱榨油脫脂而成。米糠粕一般一部份充做飼料用，一部當做肥料用。米糠粕之特點爲氮素含量只爲一般油脂之 1/2 至 1/3，然磷素含量卻相當高（5.82%）。C/N 比則高達 15 左右。米糠粕在土壤中之分解速率要比未經榨油之米糠來得快，因米糠含有 15-20% 左右之油脂。

（二）樹皮堆肥

樹皮堆肥係甚爲良好且科學化之有機質肥料。樹皮堆肥在日本茶園使用甚爲普遍，惟在台灣茶區僅局限於桃園縣龍潭茶區部份茶農使用，均屬自家堆積製造，然市面上亦有混合雞糞製造而成之樹皮堆肥。

樹皮堆肥含有高量之有機質，其含量在 70-80% 之間。氮磷鉀素含量則甚低，分別在 1.2%，1.1%（P_2O_5）及 0.5%（K_2O）左右。樹皮堆肥爲高度安定性之有機質肥料，其所含之纖維素、半纖維素、木質素在土壤中可維持甚久，不易被微生物分解。且本肥料之陽離子交換能力甚高，約 70m.e./100g，施用後可有效的提高土壤之保肥能力。樹皮堆肥屬高碳氮比之有機肥料，於茶園中之推荐用量爲每公頃 20 噸。其施用方法可視樹皮發酵後資材粗細程度，粗者以先行覆蓋於茶行間經一至兩年後再行耕犁入土與土壤者充分混合。細者可開溝或與土壤拌合直接埋入土中，若能於樹皮堆肥被耕犁拌入土壤前先撒施補充茶用複合肥料則對茶樹生長效果更佳。

(三)禽畜糞堆肥

1.禽畜糞堆肥之成分特色與施用

禽畜糞堆肥品質基準之設定一般要比化學肥料困難，因爲本項堆肥之製造受家禽及家畜種類、年齡之不同，所混合之副資材之種類及量的不同，堆肥化方式之不同，使得所產製出來之堆肥成分有

有所差異。然而從肥料管理之立場而言，制定堆肥品質之基準仍有其重要性，因爲這樣才能期望堆肥製造品質之提高，農民施用堆肥時才能就成分含有率擬定必要之策略。一般而言，成分含有率不明的話會造成施肥設計上之困難。由於雞糞堆肥、豬糞堆肥與牛糞堆肥彼此間有其成分含量上之差異，故在施用上有不同之考量。

(1)雞糞堆肥

雞糞爲糞尿同體，所製成之堆肥，一般而言要比豬糞堆肥或牛糞堆肥有較高之氮、磷、鉀肥料成分。蛋雞之飼料爲因應蛋殼硬度所需，含有較高量之鈣，故蛋雞糞堆肥之鈣含量較高，此外蛋雞之飼料營養成分較高，所以蛋雞糞堆肥要比肉雞堆肥有較高之氮、磷及鉀成分。蛋雞糞堆肥屬養分型之有機質肥料。台灣地區肉雞飼養一般使用穀殼當墊料，穀殼中含高量之矽，可減輕磷素之被土壤固定。

雞糞堆肥一般含有豐富之養分，故台灣地區茶苗繁殖常將腐熟之雞糞堆肥施用於苗床底層或於茶園種植茶苗前溝施底肥，作爲基肥之用，以促進苗木之生長。由於雞糞堆肥之高養分含量，於茶園之施用若採條施覆土之施用方法宜加注意土壤局部之肥沃化，最好每次不要條施同樣位置，宜加變換施肥處所，且與化學肥料配合施用宜酌加減施化肥。由於雞糞堆肥是屬於肥效高之有機質肥料(高氮素含量)，故實際施用上於茶園之施用量宜避免施用太多，這反而造成投入土壤中之有機質含量相對減少，故它改良土壤效果反而較低。

(2)豬糞堆肥

豬糞中的磷素含量與雞糞約相當，而其他肥料成分如氮、鉀含有率則較雞糞爲低，但卻較牛糞爲高。

豬糞堆肥爲台灣地區禽畜糞堆肥之大宗，一般以機械攪拌進行堆肥化之方式爲多。本項堆肥製造之副資材添加以穀殼、蔗渣或廢棄菇類堆肥爲主。副資材之添加具有稀釋效果會使得肥料成分降低，但有機物含量提高，而使得土壤改良之效果提高，特別是難分解之有機物之添加，如菇類廢棄堆肥之添加，有利堆肥中木質素、纖維素含量之提升。

長期豬糞堆肥於茶園之施用宜注意礦物養分平衡(mineral balance)問題，尤其因爲土壤中累積較多之鉀及鈣而使得對鎂吸收減少。茶樹葉片中鎂素適宜之範圍爲 0.15-0.30%。

(3)牛糞堆肥

牛糞的特點是纖維質含量高，但肥料成分的含有率均比雞糞或豬糞低，以粗草爲飼料主體的話，纖維質及鉀素的含量較高，而氮、磷、鈣含量較低。

牛糞堆肥一般而言含有較不易分解之有機物，故是爲改良土壤之良好資材。此外牛糞堆肥之氮素肥效率低，在土壤中氮素慢慢釋放，有利地力之維持，反而不若速效性氮肥較易被雨水淋失。由於台灣地區養牛事業並不發達，產製牛糞堆肥之廠家也不多，故牛糞堆肥在茶園之利用也不普遍，然而少數廠牌直接以牛糞有機質肥料（堆肥）爲產品名稱販售使農民易於辨認產品之原料來源。

2.禽畜糞堆肥之施用基準

堆肥之適量施用具有提供茶樹養分及改良茶園土壤之效果，此外對製茶品質之提升，茶葉之增產亦有其一定之效果。基本上禽畜糞堆肥之施用仍是在與化學肥料併用之前題下來改進茶園之生產，前者具有緩效性之效果，而後者是有速效性之效果，故二者具有互補之作用，特別是在前期禽畜糞堆肥之施用對茶樹初期之生育仍不太能發揮肥效，而由化學肥料之施用來補充其欠缺。

茶園禽畜糞堆肥之施用是採用比較低之基準加以設計，這因爲是成木茶園之行間越來越小，大量堆肥之施用會變得不方便，而且茶園之深耕作業往往受茶樹大部份是種植在坡地上之限制。表四是日本成木茶園，禽畜糞堆肥施用基準（中央畜產會，1985），在連續每年施用之場合很顯然與每隔 3-4 年施用一次之場合，禽畜糞施用之量很顯然有所不同。目前政府之有機質肥料示範推廣計畫中，每公頃推荐施用量 8 公噸，在連用之場合，對茶樹而言仍算是一合理之施用基準。

表四、成木茶園禽畜糞堆肥施用基準（噸／公頃）

禽畜糞堆肥	連續繼續施用場合	單年使用場合
雞	10	40
豬	10	20
牛	20	30

※1.中央畜產會(1985)。2.連年施用場合(10年以上)，禽畜糞堆肥之每年氮素代替量限度為每年20公斤。3.單年使用指每間隔3-4年施用1次。4.雞糞堆肥為雞糞與有機資材1：1基準下堆積腐熟。

根據日本及中國大陸之資料顯示，茶園之禽畜糞堆肥與化學肥料之適當配合施用是以化肥中施氮總量的三分之一由禽畜糞堆肥來代替(吳洵,1993)。長期施用禽畜糞堆肥之茶園，化學肥料之施用量宜減施三分之一，或依據土壤分析結果，若土壤有效磷及交換性鉀在豐富之範圍，可考慮只供給茶樹氮素養分。禽畜糞堆肥之施用宜避開採茶季節，尤其有風有雨的日子，採茶的竹籠也不宜放置在施有禽畜糞堆肥之茶樹行間上。長期施用禽畜糞堆肥應相隔4-5年進行一次土壤取樣分析，檢測茶園土壤pH是否超過茶樹生長之適當範圍，檢討土壤中磷、鉀、鈣、鎂素之累積情形。一般茶園土壤有機質含量以3%以上就算豐富之範圍，施用堆肥之茶園土壤有機質維護之期望目標是5%，超過此一數值就應相當考慮再施用堆肥之經濟性（松田,1985）。

禽畜糞堆肥於茶園施用之基準訂定乃為提供茶農施用時之參考，實際應用上應參考自己茶園之土壤及氣象條件，品種及栽培方法，製茶種類及茶樹生長狀況酌量加以增減施用量，尤其購用堆肥之原廠說明應詳加瞭解。一般而言青心烏龍生長勢較差，產量較低，堆肥之施用量可酌加減少，而台茶十二號產量較高，肥料需要量也較多。製包種茶的茶園不宜過量施用氮肥，以免影響香氣，而綠茶之製造宜酌增施氮肥。

六、有機農法茶園之有機質肥料施用策略

我國之有機農產品生產基準已於八十八年三月十五日由農委會公告，內中有關有機茶葉之生產除可採全有機之方式，亦容許採用準有機栽培之方式，茶樹得酌量施用氮素化學肥料其施用量不得超過作物施肥手冊推荐氮素用量之百分之二十，換言之茶樹所需氮素之百分之八十必需由有機質肥料（含綠肥）來供應。目前台灣地區茶園有機農法之施行據有機農業全球資訊網之資料共 35 戶（1999 年資料），其中採自製堆肥者只少數一、二農戶，大部份是以購用有機質肥料使用之方式，因此生產成本高昂，惟茶葉屬高售價之農產品，此一肥培管理成本，茶農仍可吸收。以禽畜糞堆肥在有機農法茶園之施用自然以高氮含量且肥效高之堆肥較能降低生產成本。有機農法的耕作頗爲注重地力之培養，大部份市售禽畜糞堆肥均有高百分率之有機質含量。茶樹爲對氮素需要量高之特用作物，林木連與曾信光(1996)曾指出全有機栽培方式之茶園，可以茶樹氮素需要量（360-480 公斤／公頃）各半，折算成豆粕類肥料與禽畜糞堆肥施用，其中後者宜以冬季剪枝後當基肥施用而豆粕有機肥當追肥分別視個人耕作勞力，注重春、秋冬茶，分 2～3 次施用。至於準有機栽培之茶園，因氮肥需要量可 20%以化學肥料供應，故可將茶樹總需氮量之百分之四十以含高氮成分之豆粕類肥料施用，另外的百分之四十之需氮量以禽畜糞堆肥施用，則同時施用了二種分爲速效性及緩效性之有機質肥料，此似爲有機農法茶園肥培管理可應用之策略。

魯冰又名羽扇豆是茶園常用之冬季綠肥作物，魯冰爲固氮豆科植物，於冬季之種植可因植株之吸收氮肥或本身之固氮作用，而減少禽畜糞堆肥或豆粕類有機質肥料之投入，但魯冰於有機農法茶園的種植往往因土壤肥力過於良好，而影響魯冰根瘤之產生，使得魯冰之固氮作用能力不良。

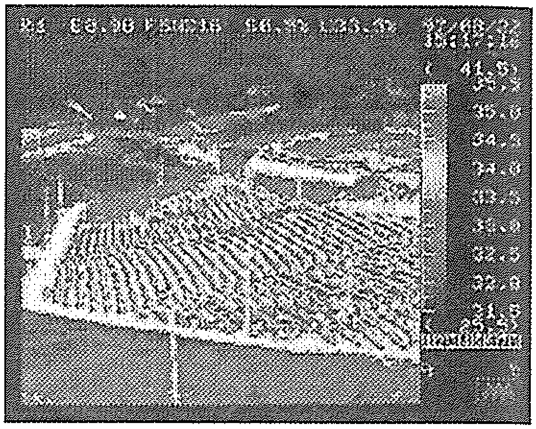
由於有機茶葉的栽培必須依靠有機質肥料中的氮素來提供茶樹之生長，基於禽畜糞堆肥一般都沒有高量的氮素含量，且氮、磷、

鉀素間之比值並不平衡，甚至於考慮堆肥中氮有效性之問題，往往要投入相當多量之堆肥，此就造成了磷、鉀素在茶園土壤中之累積，尤其行間空曠地少之茶園更又不適合加以深耕，便得磷、鉀素之含量相當偏高，此點是有機農法茶園土壤管理必須注意的。此外重金屬之累積問題，也是施行有機農法栽培之茶農所必須加以監測的。

七、茶園的精準施肥

向來茶園的施肥都是把園區當作生育是平均的，而肥料的施放也都是一樣的。國外先進國家如歐美，因衛星定位儀（GPS），作物收量偵測器（yield monitor）之利用，許多穀類作物如水稻、小麥已有甚多精準施肥之利用。茶樹方面，日本野菜・茶葉試驗場（NIVOT）也已發展出茶園收量分佈計測用摘採機以供茶園精準農耕利用（深山及吉富，1998）。此種機型爲架設在軌道式摘採機上。茶爲高價且對肥料需求較多之作物一般茶園都有過剩施肥的現象，應用精準農業的技術在茶園的管理操作，如施肥，是被認爲較具有潛力（Srinirasan，1998）。在茶樹生質體之資訊收集上也有吉富等（1996）利用微波透過樹體之衰減量來進行非破壞性（非接觸性）地收集茶樹生體資訊，以供作爲園區生長量變異之參考。利用熱紅外線也可用來遙測茶園中茶樹之不同生理表現分佈（如下圖），左圖爲一般之照相，而右圖爲經熱紅外線遙測，可發現茶園中間部位有不同之生理表現，由表現異常之部位，可進一步探討其造成之原因，而加以擬定處理之對策如施肥之增量或減量。

圖一、一般照相之茶園



圖二、經熱紅外線拍攝之茶園狀況

（轉載自日本野菜・茶葉試驗場網站）

精準農業在台灣之利用，有人預測還要等十年，但至少台灣茶農單位面積大約是 1 公頃，直覺式且長期性之耕作應已能判別園區收量之變異分佈，即收量長期都比較低的地方，如耕作不能改良，應是施用比較少之肥料。手採茶區，分區段稱量茶葉雖較煩，實際應用上以探討究明收量之空間變異分佈不是不可能。近年來日本寺田製所推出之茶園遙測用之即時測定園區 EC 分佈，也是茶園精準施肥應用的例子。

八、結　語

處於這個二十一世紀之時代，是一個注重環境與資源保育，追求永續發展的時代，肥料是茶葉生產重要且有限的能源，合理化的使用才是正途。合理化的施肥才能降低生產成本，面對加入世界貿易組織（WTO），對進口茶葉才有競爭力。

農試所土壤資訊系統之應用

劉滄棽 郭鴻裕 朱戩良 劉禎祺

行政院農業委員會農業試驗所農業化學系

一、前言

近年資訊科技之高速發展，計算機性能越來越好，使用者亦越來越普及化，替農業現代化鋪設良好之基礎。世界各國已普遍發展農業資訊技術並應用於農業資源管理、作物生產管理與產量預測、畜牧生產、農業機械、農業經濟、農業經營管理、農業環境控制、作物病虫害預報等方面。資訊科技可使農業科技跨越一大步，帶來高效率、高經濟、高品質的農業生產、農業經營管理新紀元。

臺灣地區地質與地形複雜，土壤種類繁多，對於土壤特性之掌握不可不重視。又臺灣地區地狹人稠，除開發邊際土地舒解空間壓力外，對於有限土壤資源更應設法充分利用與保護，以解決未來之糧食、能源及日益惡化之生活環境問題。土壤資源之利用首重於土壤資料之掌握，自民國前一年起，農業試驗所先後已實施完成九次不同類型之土壤調查計畫。這些土壤調查計畫應用在土壤管理、配肥措施及灌溉規劃等方面，對於臺灣過去之糧食增產有很大之貢獻；土壤調查資料表達也隨時代進步由圖文資料進展至資料庫與土壤資訊系統。最近一次(民國四十九年至六十七年)完成之土壤詳測調查資料對於本省之土壤性質瞭解極有貢獻；雖該項資料以定性資料爲主，急待更新爲定量資料(目前行政院農業委員會與臺灣省政府農林廳正支持一新的土壤調查計畫進行中)，但在現階段之農業發展仍有其利用價值。過去臺灣地區已完成耕地及坡地土壤調查，並印製有比例尺兩萬五千分之一土壤圖共 306 幅。

但土壤調查報告係以專業語言記載，非土壤專業人士無法充分利

用，同時土壤調查圖文資料繁多，查閱或圖上作業費時費力，龐大之圖文資料必需應用資訊科技解決。利用地理資訊系統及專業之判釋，可將各種艱深之圖文資料轉爲各階層利用之主題圖，增加土壤資料之可利用度，發展一容易查詢及分析功能之應用軟體，讓使用者在不瞭解土壤資料庫結構及地理資訊背景，仍可以很快得到所需之土壤資訊及完整的土壤性質分布圖與統計資料是土壤工作者所期望。西方各先進國爲因應社會大眾對土地利用及環境保護之需求，在七十年代以逐漸發展土壤資訊系統(soil information system)，供土地能限分級、農地利用規劃、稅級評訂、地下水保護、環境風險評估等等，充分發揮土壤調查資料之應用，其發展之經驗及應用方向足供我國之參考。

二、臺灣農田土壤資訊系統之建立

臺灣省政府及行政院農業委員會有鑒於農地管理之重要，於民國七十六年度起補助台灣省農業試驗所資訊設備，並先將臺灣地區稻田生產力分級圖數化，提供各地政單位查對農田生產力等級，以保護優良農田。同時土壤分布複雜、性質多、變異大，如何將土壤肥料試驗研究成果推廣於農田一直困擾土壤肥料及農業推廣人員，爲建立一農田土壤管理資訊系統，以指導農民土壤肥培管理及保護農田，所以自民國七十七年度起臺灣省農業試驗所接續數化平地耕地土壤圖，該系統解決了土壤調查報告(共 11 冊，1678 頁)、圖籍資料龐大(164 幅，33 平方公里)繁雜查閱困難(三萬多個圖塊)、專業用語之描述不易瞭解等諸多問題，同時利用地理資訊系統與專業知識之闡釋，將土壤圖文資料轉爲各種主題圖，增加土壤調查資料之可利用度。同時臺灣省政府農林廳水土保持局也進行坡地土壤圖數化工作，因爲受限於軟硬體設備之不同，兩資料庫並未完全整合。八十一年十一月經濟部成立國土資訊系統自然環境基本資料庫分組推動委員會，由經濟部資訊中心負責推動，並設有土壤、地質、地形、氣象、水文及水資源等六個常設性工作小組，農業試驗所即積極參與推動工作。八十六年度規劃建置『土壤調查資料庫』，將耕地及坡地土壤資料庫整合，八十八年度

進行『土壤調查資料庫』在作物適栽分析之整合應用規劃建置專案，是跨氣象、土壤、地形小組資料庫並結合作物專業之應用專案，已於八十八年六月完成。

自八十六年起配合台灣省政府推動網際網路建置發展，開發土壤資料網路查詢系統(taiwansoil.tari.gov.tw/talhtml/)，以推廣土壤資訊，使各階層都能接觸到有關土壤的知識，進而關心土壤環境，了解土壤保育對人類生活的重要性。另外針對農業從事人員，包括：基層農會之推廣人員及農業改良場之土壤肥料研究人員之需求，開發『土壤肥力管理與改良資訊系統』。利用地理資訊系統的疊圖、分析功能，除可瞭解各地區土壤肥力概況外，也提供農田之利用與管理建議，如適栽作物種類、石灰推薦量估算、耕作應注意事項等功能，然而各類試驗與調查資料仍嫌不足，尚未能達到精密的要求。

目前該土壤資訊之應用事例皆屬於高層次之資源管理方面應用，由農民直接應用土壤資訊之發展則尚未起步。日本農業試驗單位利用進行 17 年之『地力保全基本調查』計畫資料，建立『日本農地土壤情報系統』，並發展推行農地生產環境情報系統實用化事業，進行全域性之作物適地評價圖化作業，以及建立地域性之土壤管理及施肥推薦系統，因應農民栽植作物有關管理技術之諮詢需求，穩定農業生產，提昇農產品質。台灣地區在提供農民土壤管理及改良資訊尚處萌芽階段，需積極發展以因應未來農產品市場開放之挑戰。

三、土壤資訊系統在土壤肥培管理之應用

以目前之農業科技水準衡量，施用肥料仍是農業不可缺少之生產技術之一。如何應用土壤資訊，妥善利用土地資源並合理的施用肥料而達到永續農業之目標，是土壤肥料人員之現階段工作重點，試舉幾個目前正發展或應用事例提供參考。

（一） 妥善的利用土地資源

有關農田耕作之土壤特性，包括：有效水分含量、土壤氧氣

供應能力、有效養分狀態、保肥力、土壤毒害物質、田間耕犁性等等，影響作物生長與田間管理甚大。在一塊田耕作，必然考慮要如何配合土壤特性選擇作物，這些土壤因子之考慮，即是大家所熟知『適地適作』之道理。適地適作是減少投入之先決條件，但是在經濟效益、動態過程及社會接受力等因子干擾下，特別是臺灣之農產品銷售價格常決定於市場之需求，故有時不適作農地亦得改良農田土壤，轉而栽種市場價格佳之作物。所以需要在『適地適作』與『市場價格』間取得平衡。

一般常見之例子為農友在強酸性土壤栽種忌酸作物，因為作物生長不良而懷疑施肥量不足，於是再三的嘗試施用各種肥料與過量施肥，但還是得不到應有之報酬。土壤資訊掌握平地地區之土壤性質空間變異，可用於評估地區之土壤性質與作物生長需求條件之適合度等級，而選擇有利之作物。以土壤養氣供應能力(由土壤排水等級與土壤質地、土壤構造等決定)為例，某一區域農田之土壤通氣不好，好氣性作物根系呼吸受阻，我們當然以選擇耐水性作物或水生性作物為宜。如果此類作物價格不良(可能該類作物生產過剩或品質不佳)，生產成本不合經濟效益，退而求其次，可以在栽培技術尋求解決方法，改善生產品質，或只好投資進行土壤排水改良工程，提供選擇其它作物之機會。通常土地資源之利用是需要以區域或國家規模之尺度考量，也應由國家在考量整體農業發展方向後，再輔導農民選擇栽植作物，以減少不必要之投資浪費，一般少有由個人農田來進行土壤改良工作。

（二） 肥料施用推薦量與施肥技術之利用

土壤性質(土壤溫度、土壤硬度、有效水分含量、通氣性、土壤酸鹼度、其它有效養分、有害物質等等)會影響植物根系之活性與伸展，同時也會直接或間接的影響肥料有效性。利用土壤資訊可以因地制宜的估算肥料之施用量、補充缺乏之必需元素與調整施肥方法，推薦地區之施肥量與施肥方法，提高作物之肥料利用率。

以土壤資訊之資料應用於評估臺灣地區農田土壤鎂肥之需求

爲例說明，交換性鎂其含量通常與作物鎂吸收量有密切相關，但國人較少注意。一般人以酸性且粗質地土之交換性鎂絕對低限值爲0.2 cmol.(+) /kg 土，但一般熱帶地區交換性鎂低於0.5 cmol.(+) /kg土含有缺鎂徵狀；部分資料顯示認爲交換性鎂在4.0 cmol.(+) /kg土方足夠，依作物類別及土壤性質而異。又如以日本地力增進標準土壤交換性鎂至少應爲陽離子交換能量之15%評之，則臺灣平地農田之紅壤、中南部非石灰性砂頁岩沖積土、東部片岩沖積土及宜蘭地區非石灰性板岩沖積土之土壤交換性鎂含量顯然不足有待提昇，或對於鎂元素管理應加以注意。

最近調查各土類土壤交換性鎂之平均值及標準偏差如下表：

表1、調查區農田土壤交換性鎂之平均值及標準偏差

層次		砂頁岩[1] 沖積土	片 岩[2] 沖積土	砂板岩[3] 混 合 沖積土	石灰性[4] 砂頁岩 沖積土	紅 壤[5]	非石灰性[6] 板 岩 沖積土
		土 壤 交 換 性 鎂 (cmol.(+)/kg 土)					
1	平均值	1.08	0.51	3.16	1.81	0.56	0.80
	偏差	0.42	0.35	0.30	0.79	0.35	0.30
2	平均值	1.15	0.45	2.18	1.80	0.50	0.77
	偏差	0.49	0.41	0.80	0.75	0.32	0.29
3	平均值	1.25	0.45	2.09	1.92	0.45	0.68
	偏差	0.54	0.48	0.86	0.80	0.36	0.23

1. 砂頁岩沖積土：潭子、大里、大社。
2. 片岩沖積土：新城、卑南。
3. 砂板岩混合沖積土：彰化、和美。
4. 石灰性砂頁岩沖積土：安定、七股、西港、永康。
5. 紅壤：八德、埔里大平頂。
6. 非石灰性板岩沖積土：羅東。

由表可知片岩沖積土、紅壤及非石灰性板岩沖積土等三土類之土壤交換性鎂偏低，砂頁岩沖積土則在邊緣。東部片岩沖積土、紅壤地區之作物缺鎂甚爲普遍，是已知之事實，宜蘭地區之非石灰性板岩沖積土是否缺鎂則需進一步確認。交換性鈣鎂比是否平衡，亦影響鎂元素之有效性。

土壤交換性鎂值偏低，應當施用鎂肥改善，臺灣省農業試驗所在埔里大平頂紅壤地區缺鎂百香果園施用含鎂石灰8噸/公頃，除可以增產60%以上，對於百香果品質亦大幅改進；新社地區之枇杷、后里外埔地區葡萄缺鎂亦有驚人之改善生產量與品質效果。

（三） 增加與穩定生產－土壤改良之利用。

土壤性質不良自然影響作物之生長，亦影響作物對養分之吸收，透過土壤改良技術可以改進土壤生產力，增加與穩定農業生產，也直接或間接增加肥料利用率，保護環境品質，提高經濟效益。土壤資訊可以提供地區之土壤改良項目與面積，供為評估土壤改良區之優先順序及土壤改良之效益。

地力增進計畫是一正積極推動之政策之一，其主要目的在於改善農田土壤性質，以提高農作物產品之質與量。臺灣省農業試驗所配合該項計畫，以土壤資訊為基礎，評估臺灣地區農田土壤待改良項目有十一項，包括：有效土層淺、表土石礫、表土耕犁性差、土壤鹽分、酸性土壤、排水不良、土壤保水力低、土壤養分含量低、土壤污染、風害及其他整體性之問題(如土壤有機質含量、犁底層問題)等。報告中提示各項土壤改良之重要性、改良方法與過去曾進行之試驗或小規模計畫之改良成效，同時列出各鄉鎮、縣等行政單位之改良面積，可供各級農政單位執行計畫參考。

透過農地力增進計畫之執行，可達到下列目的：提高農地之生產力，振興農村經濟，穩定農業生產，安定社會；改善耕作環境，增加農民選擇栽培作物機會，以增加開放市場挑戰之競爭力；提高土壤生產力，降低作物生產成本；配合其他農業政策、計畫，擴大其它計畫成果；改善農地污染問題，保障國民健康。

（四） 保育資源與增進環境品質－農耕環境敏感地之劃定。

農業之施肥措施常被認為地表水或地下水質污染之主要原因，以目前施肥技術水準而言，為了維持一定水準之產量，又要降低耕作成本，施用肥料難免會影響環境品質，特別是氮肥。另一方面不同作物之肥料吸收率差異很大，不同作物所需肥料量亦不相同，如果不能明瞭作物之需肥量與吸收肥料型態、時期，不

當之施肥自然造成環境之污染。臺灣地區許多農田位於舊河床或沖積扇，土層淺薄且富砂礫，造成地域性之土壤保肥力小、土壤之滲漏性快、地下水位高及地表逕流等問題，肥料在土體中之移動快速，如不能小心施用肥料，施用過剩之肥料流入地表排水系統或地下水層即造成地區性之水質污染問題。

土壤資訊可以評估各地區之土壤性質對肥料動態承受力，評定農耕環境敏感地等級。在農耕環境敏感地區應當採取：(1)選擇低肥需求之土地利用型作物；(2)減少肥料用量耕作方式；(3)高肥料利用效率之施肥技術等措施，並加強農民施肥量之監測與管制措施。政府則應當補貼農民採用這些措施之損失，以減少施肥對環境敏感區之肥料污染問題，保障國民健康與良好之生活環境品質。

（五） 預防災害之應用------土壤液化敏感度評估

九二一集集地震造成許多地區嚴重的土壤液化現象，有許多建築傾斜及農田噴砂現象，引起民眾的恐慌。政府應充分提供土壤液化之潛在危險區等相關資訊與規範，讓民眾有所遵循及預防，避免再次發生災情，但目前並無圖面化之土壤液化潛在危險區資料可以應用，如要調查本項資料恐費時而且緩不濟急。農業試驗所在地震之後，迅速利用現有的土壤資訊系統，以有效土層的質地、排水性狀並以斷層線之左右五公里內影響區加乘為評估條件，區分雲嘉南中彰投等縣市土壤液化的敏感度，繪製成圖，並至部分災區現場校驗可信度，此等資料應能供為預防震災土壤液化規劃之參考。

四、工作成果

（一） 成果之應用

第一階段之土壤資訊系統資料建檔之工作完成後，利用資訊系統進行分析、闡述土壤資訊，將不易為一般人員瞭解之繁雜土壤專業資訊轉繪成簡易可讀之各種主題圖文資料。整理臺灣地區農田土

壤之性質、歷年土壤改良之試驗結果，統計各鄉鎮之待進行土壤改良之農田面積，供爲政策制定及地方執行之參考，達到充分利用及管理農田土壤資源之目的。在此期間完成『臺灣地區農田地力增進初步調查報告』一冊及各種省、縣及鄉鎮尺度之土壤性質闡釋圖三百餘幅。

同時土壤資訊系統可協助及訓練農林廳及各區農改場人員利用利用土壤資訊系統，以發揮土壤資訊功能，善用土壤資源。例如農林廳每年舉辦之酸性土壤改良計畫，每年由各縣市政府提報擬改良區域、面積，但常因土壤資訊不足及地方因素影響而使得計畫效益打折扣，如今採用本系統，可以查核所提報之酸土改良區域是否符合改良要件，以及預先規畫經費之分配，促使政府之經費有效運用。

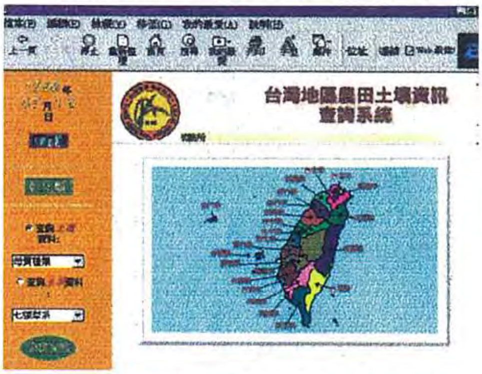
（二） 資訊提供服務

自從國土資訊系統自然環境基本資料庫分組成立以來，於八十三年度訂定自然環境基本資料庫分組之『資料目錄管理』資訊，提供土壤調查資料庫內容概要，可以讓外界瞭解資料庫內容而向資料供應單位函索土壤資料，並加以應用，函索資料之案件不斷增加。以農試所在八十二年度至八十七年度間即提供了四十二件次之服務，服務範圍包括農業、工程、地政及環保等等各不同領域。

爲擴大土壤資訊之服務層面，農業試驗所開發了台灣地區農田土壤資訊查詢系統(taiwansoil.tari.gov.tw/talhtml/)將已建檔之土壤資料庫架構於網際網路，提供網路查詢平地耕地土壤詳測調查之土壤圖，包括土系名稱、母質種類、土壤特性、土壤形態、排水等級、石灰性、坡度、表土酸鹼度及四個不同深度之土壤質地等 12 項屬性資料。使用者由農試所網頁主畫面可點選土壤資訊，之後可看到土壤資訊查詢系統，點選後即進入「台灣地區農田土壤資訊查詢系統」之主畫面(圖一)。在左邊先選擇想要查詢的區域，點選後再點一下『我要查詢』功能鍵，即可看到『查詢土壤資料』和『查詢土系資料』兩個選項(圖二)。若選擇『查詢

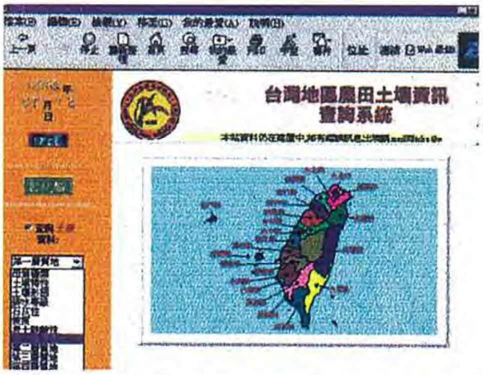
土壤資料』，請先確定此項前面的圓框內有黑點，表示選擇此項，

圖一：「台灣地區農田土壤資訊查詢系統」之畫面

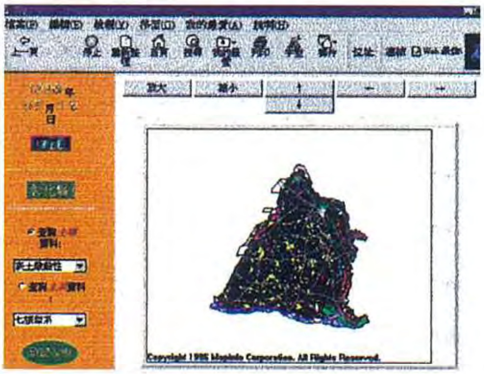


圖二：『查詢土壤資料』和『查詢土系資料』兩個選項

再按下面的選單右側箭頭，就會顯示出十一個資料項，將游標移到想要查詢的資料名稱（圖三），點選後再點一下『我要查詢』功能鍵，此時查詢介面會把選項送到站台，經運算後將查詢結果製成圖表顯示在右下方的框內（圖四），所以會需要花一點時間等待。資料表中會顯示資料項的圖例及統計資料，點選資料項名稱，會另開一個瀏覽視窗、內容爲這個資料項的代碼說明（圖五），圖形部分則以各種顏色表示各個代碼，並套繪水系和道路，以便判斷位置，使用者可利用在圖形上方的放大，縮小及上下



圖三：選擇想要查詢的資料名稱

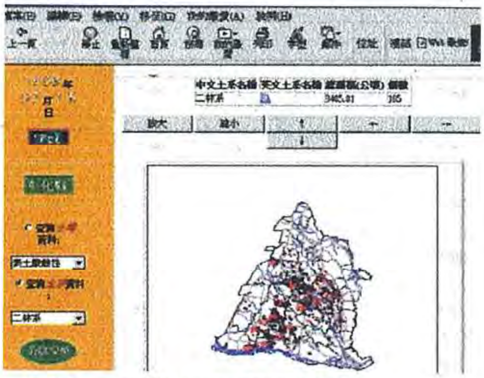


圖四：查詢表土酸鹼度結果

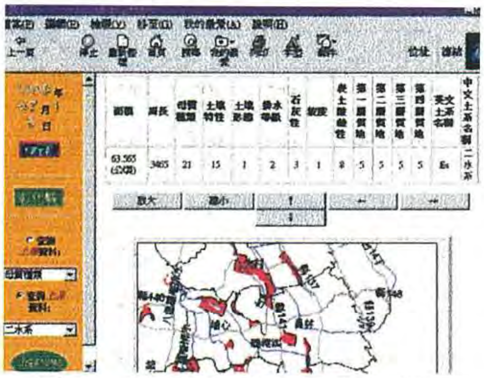
圖五：另開一個瀏覽視窗顯示表土酸鹼度資料項的代碼說明

圖六：選擇想要查詢的土系名稱

右移動功能鍵找到想查詢的地區正確位置。若選擇『查詢土系資料』，請先確定此項前面的圓框內有黑點，再按下面的選單右側箭頭，就會顯示出所有可選擇的土系名稱，將游標移到想要查詢的土系名稱上（圖六），點選後再點一下『我要查詢』功能鍵，一樣要等待一點時間，系統會將這個土系分布的位置以圖形的方式顯示，並將這個土系的統計資料製成表格（圖七），若使用者點選在表格中的英文土系名稱，一樣會另開一個瀏覽視窗，內容爲這個土系的說明。圖形方面也有放大、縮小及上下左右移動的功能，另外若直接在圖上點某一點，資料表格就會變成選到的這塊土系的面積及前述的十一項資料代碼（圖八）。



圖七：查詢土系資料結果



圖八：單塊土系資料查詢結果

此一查詢系統仍在不斷的改進，以提供使用者更方便、更親切的使用介面，使各階層都能接觸到有關土壤的知識，進而關心土壤環境，了解土壤保育對人類生活的重要性。

（三）資訊服務產值效益評估

85-97年間單以農業試驗所之土壤調查資訊服務提供農業、地政、工程、水利、區域規劃、環保及學術機構共34件次之服務，提供之土壤圖及電子檔服務直接價值至少可節省再調查所需經費

約 3,384,000,000 元(每公頃調查約為 300 元)及 180 年(全省調查 17 年 x 9 + 27 年零星調查)之調查時間，由本項資料應用產出之間接價值則不計算在內。

五、未來之工作重點

(一) 臺灣地區之土壤調查資料分別在二十餘年間完成，因沒有有專責單位負責進行，計畫間斷與人員更替，使得土壤調查資料未能整合及標準化，無法充分的發揮土壤資料之應有效果。農業試驗所自八十六年度起，開始建置共用性之土壤調查資料庫，即在整合及擴充現有之土壤調查資料庫。待土壤調查資料庫整合完成之後，土壤調查資料之標準化工作應接續進行，將過去土壤調查資料及後續之調查工作建置成為具有前瞻性、一致性並符合未來需求之土壤資料庫，才能發揮土壤調查資料庫之真正功能。

(二) 現有之土壤調查資料已完成二十年，因為過去之土壤調查技術受限於專業技術而使得現有之土壤調查資料欠缺已無法符合定量、精確化之現代需求，急待土壤工作者之共同努力，更新及擴充臺灣的區土壤資料庫內容。

(三) 以地理資訊系統技術配合開發專家系統，以擴充目前以資料查詢為主的使用方式。以農業利用為例：結合土壤養份循環模式，開發肥料承受力之分析模式，並利用土壤資料估算不同生態環境之肥料等投入承受力及繪出分級圖。又如進行全域性之作物適地評價圖化作業，以及建立地域性之土壤管理及施肥推薦系統，因應農民栽植作物有關管理技術之諮詢需求，穩定農業生產，提昇農產品質。

高效能植酸酵素在增進土壤有機磷及有機質肥料有效性之應用

張明暉、楊秋忠

行政院農業委員會農業試驗所農業化學系、國立中興大學土壤環境科學系

一、前　言

植酸鹽(phytate)為穀類及豆科作物植株中磷素主要貯藏形式，此類作物為人類及動物主要營養素，唯植酸鹽無法為缺乏植酸酵素(phytase)之單胃動物分解，如豬、家禽、魚類無法代謝植酸鹽，致使必須另外添加無機磷於飼料中以滿足所需，結果密集式畜牧業往往造成環境中磷污染；另植酸鹽易束縛鈣、鎂、鐵、錳、銅、鉬、鋅以及蛋白質，為抗營養劑，因此以植酸酵素作為動物飼料添加物，可以提高動物對有機磷利用率及減少環境中磷污染。而目前植酸酵素已有商品化產品上市。

鑑於近年來利用生物計技術生產高效能植酸酵素作為動物飼料添加物之可行性，而土壤有機磷約佔全磷量 30-50%，甚至高達 80%，其主要為植酸鹽，約佔 10-15%，亦必需藉由植酸酵素水解作用，方能釋出無機磷供作物吸收利用；除此之外，有機質肥料之原始材料來源，多取自豬、家禽糞便，該類有機肥富含植酸鹽，如雞糞植酸鹽含量約 1610-3510 $\mu g\ g^{-1}$。因此，透過基因選殖操作技術，利用改良之遺傳工程菌株，當可增進土壤或有機質肥料之有機磷有效性。

二、植酸酵素之回顧介紹

1907 年 Suzuki 等人首次在米糠中發現植酸酵素(phytase 或

myo-inositol-hexaphosphate phosphohydrolase)，1962 年美國 International Minerals and Chemicals (IMC) 開始著手研發植酸酵素商品化產品，其後至 1979 年代雖陸續分離發現優良菌株，該酵素產量為前所未及，如 *Aspergillus niger* NRRL 3135 syn *A. ficuum* 。而直至目前基因選殖操作之植酸酵素基因有兩個，大多分離自該種菌株，分別為 phy A 和 phy B，其酵素活性最適合之酸鹼值，phy A 為 pH5.5 和 2.5，phy B 為 pH2.0。1971 年 Nelson 等人曾以植酸酵素為飼料添加物，可惜植酸酵素產量不高，不符經濟原則。直至 1980 年代，隨著基因選殖操作許可，產量明顯增加。荷蘭 Gist-brocades 和芬蘭 Alko Ltd 同時於 1987 年投入商品化植酸酵素研發。1991 年，Gist-brocades 選殖 phy A，並結合 amyloglucosidase 啓動子於 *A. niger* NRRL 3135，酵素產量比原野生種增加約 52 倍，目前該商品化植酸酵素已廣泛使用於家禽、豬之飼料添加物，且在許多國家核准上市(包括台灣)，其在台灣上市之植酸酵素售價每公斤九百元。而美國亦於 1996 年一月核准植酸酵素為食品添加物上市。

含植酸鹽之有機磷可經由植酸酵素水解作用，釋出無機磷以供植物吸收利用，其構造及反應式如圖一所示。植酸鹽為穀類及豆科作物植株中磷素主要貯藏形式。此類作物為人類及動物主要營養素，唯單胃動物缺乏磷酸酵素，如豬、家禽、魚類無法代謝植酸鹽，致使必須另外添加無機磷於飼料中以滿足所需，結果往往造成密集式畜牧業環境中磷污染；另植酸鹽易束縛鈣、鎂、鐵、錳、銅、鉬、鋅以及蛋白質，為抗營養劑(Janne kerovuo et al., 1998)，因此以植酸脫磷酵素作為動物飼料添加物，可以提高動物對有機磷利用率及減少環境中磷污染。根據美國農業 1993 年統計估算，美國地區飼養之單胃動物，每年若於飼料中添加植酸酵素，則由植酸鹽水解釋出的磷素約 $1.68*10^8$ 美元。除此，可以減少 $8.23*10^7$ kg 磷素排放至環境中。而目前植酸脫磷酵素已有商品化產品。

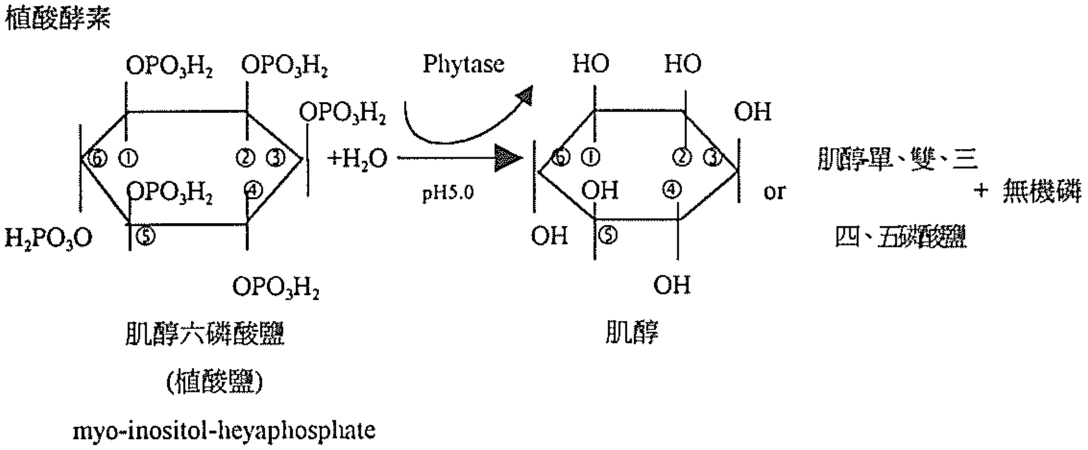


圖 1. 植酸鹽經由植酸酵素之水解反應
Source:Bing-Lan Liu, 1998

植酸酵素的來源如表一所示，(1).植物性來源：穀類、豆科以及某些種子及花粉富含該酵素。(2).動物性來源：該酵素存在脊椎動物紅血球及血漿中以及哺乳動物小腸中。(3).微生物：可分爲細菌與真菌，細菌諸如 *Aerobacter aerogenes* (Greaves et al.,1967)，*Bacillus subtilis* (Shimizu,1992)，*Pseudomonas* sp.(Cosgrove,1970)；真菌如 *Aspergillus spp.* (Ullah and Gibson ,1987)以及酵母菌(Greenwood and Lewis 1977)。一般由真菌產生之植酸酵素爲胞外酵素，而由細菌產生者，除了 *Bacillus subtilis* 和 *Enterobacter* 爲胞外酵素，一般爲胞內酵素(Liu et al., 1998)。植物雖亦可生產植酸酵素，目前亦有轉基因植物作爲飼料添加物，但費時且不易量產，故一般以微生物來生產(曾，1998)。而隨著基因選殖操作許可，植酸酵素產量明顯增加。

表一、植酸酵素之來源與特性

種類	來源	分子量(kDa)	適當溫度(℃)	適當 pH
細菌	*B. subtilis*	36-38	60	6.0-6.5(6.25)
	E. coli	42	55	4.5
	Enterobacter	-	50	7.0-7.5
	K. aerogenes	10-13,700	60-70	4.5,5.2(3.7)
	Pseudomonas	-	-	5.5
真菌	*A. ficuum*	85-100	55-60	4-6(4.5)
	A. niger	200	53	5.5
	A. terreus	214	70	4.5
	A. oryzae	120-140	50	5.5(4.5)
	R. oligosporus	-	55	4.5
酵母菌	*S. casterllii*	490	77	4.4
	Bakers' yeast	-	45	4.6
植物	油菜籽	-	50	5.2
	南瓜	66.5	48	4.8
	麝香百合	88	55	8.0
	玉米	76	55	4.8
	綠豆	160	57	7.5
	大豆	60	55	4.5-4.8(5.5)
	小麥	68	45	6.0
	麥麩	47	55	5.0-5.6,7.0
動物(腸黏液)	人類	-	-	7.4
	雞	-	-	8.2
	小牛	-	-	8.7
	老鼠	70-90	-	7.0,7.5-7.8

Source：Bing-Lan Liu et.al., 1998

三、土壤有機磷之性質

土壤有機磷含量約佔全磷量 30-50% (Paul and Clark, 1989)，甚至高達 80% 。土壤有機磷含量明顯受母岩影響，一般石灰性土壤、沖積土以及湖中黏土含量低，而玄武岩、火山灰、鹼性火成岩較高；而黏土之有機磷含量高於粗質地土壤，但較腐植質土壤低；另有機磷多以大分子化合物存在，主要與黃酸(fulvic acids)結合，其次與腐植酸(fumic acids)，而腐植素(humins)幾乎不含磷素。Walker and Adams(1959)研究結果顯示:有機磷含量隨降雨量及平均溫度增加而減少。其他影響土壤有機磷含量之因子包括：排水、土壤酸鹼度、耕犁情形等。排水不良土壤，有機磷含量較少；土壤有機磷含量一般隨土

壤酸鹼度減少而增加，隨耕犁操作而減少。

土壤有機磷一般區分爲三大類，即肌醇磷酸鹽(inositol phosphates)、磷脂質(phospholipids)、核酸(nucleic acids)，如表二所示，其主要爲肌醇磷酸鹽，該分子可能與碳水化合物或蛋白質形成複合物，主構造可能含有六、五、四、三、二個磷酸，依植酸酵素水解程度而定，而土壤中以含有六、五個磷酸佔大多數，其它較低分子者很少。其中含有六個磷酸之肌醇磷酸鹽，稱之植酸鹽(phytate 或 phytic acid 或 myo-inositol hexaphosphate)，其若含有鈣－鎂則通稱爲植酸鈣鎂(phytin)。植酸鹽爲主要之土壤有機磷，約佔 10-15% (Islam and Ahmed, 1973)。植酸鹽爲磷酸酯化合物，主要爲正磷酸單酯。且長期試驗施用過磷酸鈣，土壤有機磷多以正磷酸單酯聚積(Condron et al., 1985)。

表二、土壤有機磷種類之分佈比例

土壤來源	有機磷%		
	肌醇磷酸鹽	磷脂質	核酸
澳洲	0.4-38	-	-
孟加拉	9-83	0.5-7.0	0.2-2.3
英國	24-58	0.6-0.9	0.6-2.4
加拿大	11-23	0.9-2.2	-
紐西蘭	5-43	0.7-3.1	-
奈及利亞	23-30	-	-
美國	3-52	-	0.2-1.8

Source：Dalal, 1977

四、利用遺傳工程菌株增進土壤有機磷之有效性

磷爲肥料三要素，爲農業作物生產之必需營養素，其來自礦石開採，終有用盡耗竭之日，故爲達農業永續性，如何增進土壤有機磷有效性有其重要性。耕作土壤雖經長年大量施磷肥，但多爲土壤固定累積，致使土壤中磷之有效性甚低，不易被作物吸收利用。一般磷肥施入一年生作物土壤，回收之磷素不超過 20%(楊，1993)，此被土壤固定的磷素就如同存放在銀行的貨幣，若未經提領使用，即無法發揮效用。而土壤有機磷有效性之增進有賴磷酸酵素(phosphatase)水解作用

釋出無機磷以供植物利用。一般凡能催化磷酸酯水解反應之酵素通稱爲磷酸酵素，文中提及之「植酸酵素」係磷酸酵素的一種，其名稱係根據酵素對基質專一性之特性。

台灣土壤中究竟含有多少有機磷？根據馬氏 1978 分析資料，一般土壤無機磷含量高於有機磷，但部分酸性土壤有機磷含量高於無機磷，且一般酸性土壤有機磷含量高於石灰性土壤，如表三所示。而根據台灣農業年報 1994 年統計，近十年來台灣農民每年過磷酸鈣施用量約 20 萬公噸，如此多量之無機磷素部份可能形成有機磷累積，需賴微生物或植物之磷酸酵素水解作用，方能供作物吸收利用；而穀類、豆科作物廣佈於世界各地，提供人類及動物養分主要來源，植酸鹽爲其重要儲存形態，若能利用植酸酵素將之水解出無機磷，必能增加土壤磷素地力進而達永續利用之目的；除此，今日農民對有機肥料施用的觀念已極爲普遍，而有機肥之原始材料大多來自豬、家禽糞便，此廢物之植酸鹽含量頗高，如雞糞含量約 1610-3510ug g^{-1} (Peperzak et al., 1959)，若能藉由植酸酵素水解作用釋出無機磷以供植物吸收利用，不但可以提升該類有機質肥料的品質，並可減輕該廢棄物造成環境污染的問題。

表三、 台灣地區土壤有機磷、無機磷含量

土壤	土系	土類	有機磷	無機磷	植生
			--------ug g^{-1}	---------	
1	龍崗系	紅壤	181	361	水稻
2	龜山系	紅壤	88	75	水稻
3	平鎮系	紅壤	139	100	茶樹
4	陳厝寮系	紅壤	117	161	甘蔗
5	老埤系	紅壤	365	273	鳳梨
6	淡水系	紅壤	232	144	芒草
7	二林系	粘板岩老沖積土	117	631	水稻
8	二水系	粘板岩老沖積土	120	948	水稻
9	善化系	台灣粘土	115	493	水稻
10	麻豆系	砂頁岩新沖積土	110	752	甘蔗
11	座駕系	砂頁岩非石灰性新沖積土	126	257	水稻
12	花壇系	粘板岩新沖積土	220	583	水稻
13	五魁寮系	粘板岩老沖積土	218	423	蓮霧、檳榔

資料整理自馬清華，1978

1997 年 Richardson 等人從土壤篩選獲得之螢光性 *Pseudomonas spp* (*P. mendocina* CCAR31 和 CCAR60)具分泌植酸酵素的能力，且其從植酸鹽釋出之無機磷高達 81%。近日，隨著分子生物學基因調控操作技術之進步，以遺傳工程菌株增進土壤有機肥料中有機磷之有效性當為可行。

五、結語

土壤中磷素有效性低，主要的原因在於土壤中磷素大多被固定累積且不易移動，故農民每年雖施用大量磷肥，但植物吸收量不及 20%，其餘多為土壤固定累積。故如何增進土壤中磷素有效性，過去即引起廣泛研究，不過多偏重土壤無機磷方面。然依本文中所述，土壤有機磷在磷循環亦扮演著重要角色，故如何增進土壤有機磷有效性？當為未來的研究方向。而政府自八十四年起積極發展有機農業，有機農業為永續農業之一環，在施肥管理方面，倡導不施化學肥料或減少化學肥料使用，以有機質肥料取代化學肥料。此觀念當為日後作物栽培施肥管理之趨勢，蓋有機質肥料不但可以避免化學肥料對土壤之負面影響，更可解決本省大量農牧廢棄物所造成環境嚴重污染問題，並達資源再利用的目的。除此，水旱田輪作制度亦為土壤地力增進之重要對策，而穀類、豆科為常見之輪作作物，此類作物含豐富植酸鹽，可提供土壤部份有機磷，唯需賴植酸酵素水解作用釋出無機磷。因此我們期能隨著分子生物學之進步，以基因選殖操作技術，利用改良之遺傳工程菌株，研發生物肥料取代部份化學肥料施用，以增進土壤或有機質肥料之有效性。使得有機質肥料合理化施用技術更臻完善。

六、參考文獻

1.台灣農業年報。 1994。台灣省政府農林廳。
2.馬清華。1989。台灣土壤磷模式基礎資料之建立。國立台灣大學農

業化學研究所碩士論文。

3.曾雅秀、方繼。1998 *pencillium simplicissimum* W46 胞外植酸酉每之生產、純化及特性分析。中國農業化學會誌 36:598-611。

4.楊秋忠。1993。土壤與肥料(第五版)。農世股份有限公司，台中。

5.Cosgrove, D.J. 1970. Inositol phosphate phosphatases of microbial origin. Inositol phosphate intermediates in the dephosphorylation of myo-inositol, scyllo-inositol, and D-chiro-inositol by bacterial (*Pseudomonas* sp.) phytase. Aust. J. Biol. Sci. 23:1207-1220.

6.Condron, L. M., K. M. Goh, and R. H. Newman. 1985. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ^{31} P nuclear magnetic resonance analysis. J. Soil Sci. 36:199-207.

7.Dalal, R. C. 1977. Soil organic phosphorus. Adv. Agron. 29:83-117.

8.Greaves, M.P., Anderson, G., and Webley, D.M. 1967. The hydrolysis of inositol phosphates by *Aerobacter aerogenes*. Biochem. Biophys. Acta, 132:412-418.

9. Greenwood, A. J., and Lewis, D. H. 1997. Phosphatase and the utilisation of inositol phosphate by *Aerobacter aerogenes*. Biochim. Biophys. Acta,132: 412-418

10. Harrison A. F. 1987. Soil organic phosphorus. C.A.B International.

11.Islam, A. and B. Ahmed, 1973. Distribution of inositol phosphate, phospholipids and nucleic acids and mineralization of phosphates in some Bangladesh. J. Soil Sci. 24:193-198.

12.Janne kerovuo, Marko Lauraeus, Paivi Nurminen, Nisse Kalkkinen, and Juha Apajalahti. 1998. Isolation, characterization, molecular gene cloning, And sequencing of novel phytase from *bacillus subtilis*. Applied and Environmental Microbiology 64(6):2079-2085.

13.Liu, B. L., Amjad Rafig., Yew-Min Tzeng, and Abdul Rob 1998 The induction and characterization of phytase and beyond. Enzyme and Microbial Technology 22:415- 424.

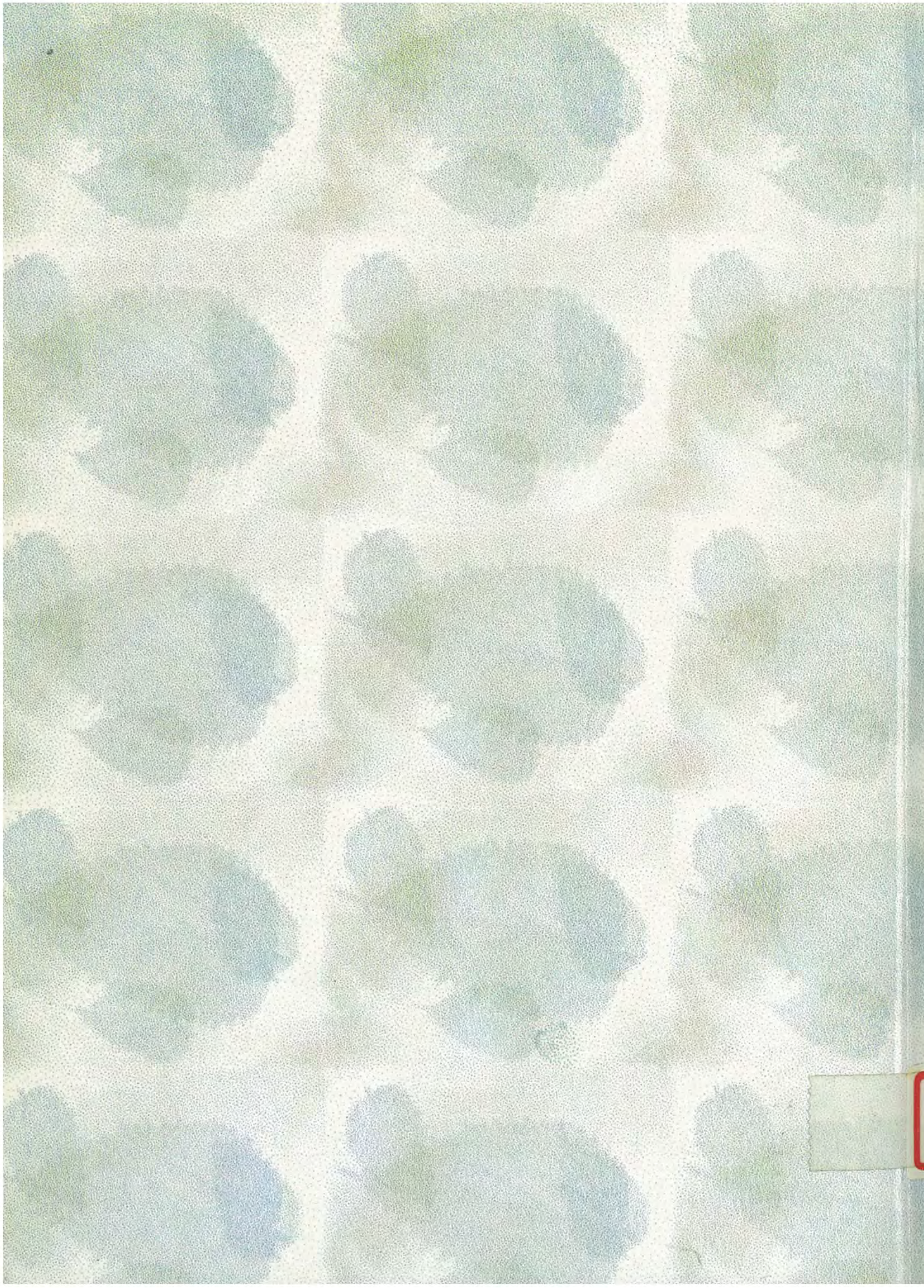
14.Peperzak, P., A. G. Galdwell, R. R. Hunziker and Black, C. A. 1959. Phosphorus fractions in manures. Soil Sci. 87: 293-302.

15.Paul, E.A. and F.E. Clark. 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, New York. P.222-232.

16.Richardson, A.E., and P. A. Hadobas.1997. Soil isolates of *pseudomonas* spp. that utilize inositol phosphate. Can. J. Microbiol. 43 : 509-516.

17. Stewart B. A. 1991. Chemistry of phosphorus transformations in soil. Springer-Verlag New York Inc.16.

18.Shimizu, M. 1992. Purification and characterization of phytase from *Bacillus subtilis* (natto) N-77. Biosci. Biotechnol. Bio-chem. 58:1266-1269.

19. Ullah, A. H., and D. M. Gibson. 1987. Extracellular phytase (E.C.3.1.3.8) from *Aspergillus ficuum* NRRL 3155: Purication and characterization. Prep. Biochem .17:63-91.

20. Ullah, A. H., and R. J. Wodzinski. 1996. Phytase. Adv. Appl. Microbiol. 42 : 263-302